



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**ANALÝZA PŘÍDRŽNOSTI HYDROIZOLAČNÍCH  
SYSTÉMŮ ZE SAMOLEPICÍCH ASFALTOVÝCH PÁSŮ**

ANALYSIS OF ADHESION OF WATERPROOFING SYSTEMS OF  
SELF-ADHESIVE ASPHALT FELTS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Robin Kerekanič

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.d.

**BRNO 2018**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Robin Kerekanič
<b>Název</b>	Analýza přídržnosti hydroizolačních systémů ze samolepicích asfaltových pásů
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Lyons, A. Bitumen and flat roofing materials, Materials for Architects and Builders (Third Edition), 2006, p.197–209.

Hung, A., M., Goodwin, A., Fini, E., H. Effects of water exposure on bitumen surface microstructure, Construction and Building Materials, Vol. 135, 2017, p. 682–688.

NOVOTNÝ, M., MISAR, I., ŠUTLIAK, S. Hydroizolace plochých střech, Grada Publishing, a.s., Praha, 2014, ISBN 978-80-247-5002-6.

ETAG 006 – SYSTÉMY MECHANICKY KOTVENÝCH PRUŽNÝCH STŘEŠNÍCH HYDROIZOLAČNÍCH POVLAKŮ, Evropská organizace pro technická schválení.

Příslušné technické normy, články v odborných časopisech a sbornících, jiná odborná literatura.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce bude zaměřena na analýzu přídržnosti hydroizolačních systémů plochých střech ze samolepicích asfaltových pásů a bude řešena ve spolupráci s firmou STAVEBNINY DEK a.s. Provedené studie ukazují, že jedním ze zásadních vlivů na kvalitu díla má nejen způsob provedení (správné směřování plamene při natavování pásů atd.), ale také podmínky okolního prostředí. Kvalitu spojení může ovlivňovat vlhkost a teplota prostředí, ve kterém je aplikace prováděna. V práci proveďte:

- 1.) Rešerši tuzemské a zahraniční literatury zaměřenou na problematiku hodnocení kvality spojení hydroizolačních asfaltových pásů s podkladem ve skladbách plochých střech.
- 2.) Navrhněte zkušební postupy pro sledování vlivu vlhkosti a teploty na přídržnost, a to jak při realizaci, tak při následném působení těchto vlivů. Zaměřte se na problém hodnocení kondenzace vody na rozhraní asfaltový pás/izolant. Postup laboratorních prací navrhněte nejlépe formou etapizace.
- 3.) Experimentálně ověřte navržené postupy včetně statické a dynamické zkoušky přídržnosti. Výsledky experimentální části vyhodnoťte pomocí tabulek a grafů.
- 4.) Proveďte zhodnocení dosažených výsledků a rozbor problematiky s praktickými dopady do stavební praxe.

Rozsah práce 60–80 stran.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

## ANOTACE

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku přídržnosti asfaltových pásů na plochých střechách. Praktická část hodnotí na základě experimentů přídržnost samolepicích asfaltových pásů na skladbě s klasickým uspořádáním vrstev. Navrhuje a experimentálně ověřuje metodu pro teplotní cyklování vzorků a systém k vyvolání kondenzátu pod asfaltovým pásem. Statickým zatížením je sledován vliv teploty a vlhkosti na přídržnost pásů při realizaci, při následném působení těchto vlivů a také po kondenzační zkoušce. Zkoušený je i vliv dynamického zatížení na přídržnost hydroizolace k expandovanému pěnovému polystyrenu. V diskuzi a závěru je posouzen také vliv lidského faktoru na výslednou přídržnost a vhodnost použitých metod.

## KLÍČOVÁ SLOVA

plochá střecha, samolepicí asfaltový pás, hydroizolační souvrství, hodnocení přídržnosti, zatížení větrem, kondenzace

## ABSTRACT

This diploma thesis focuses on the adhesive of asphalt felts on flat roofs. The practical part evaluates on the basis of experiments the adhesion of self-adhesive asphalt felts on conventional system with warm deck. It proposes and experimentally verifies the method for temperature cycling of samples and the system for causing condensation under bitumen sheet. The influence of temperature and humidity on the adhesion of the bitumen sheet during the realization, the subsequent effects of these influences as well as the condensation test are monitored by static loading. The influence of the dynamic load on the adhesion of the waterproofing to expanded foamed polystyrene is also tested. In the discussion and conclusion, the influence of the human factor on the resulting adhesion and the suitability of the methods used are also assessed.

## KEY WORDS

flat roof, self-adhesive asphalt felts, waterproofing layer, evaluation of adhesion, wind load, condensation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KEREKANIČ, Robin. *Analýza přídržnosti hydroizolačních systémů ze samolepicích asfaltových pásů*. Brno, 2018. 100 s., 15 s příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2018

---

Bc. Robin Kerekanič  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří paní doc. Ing. Nikol Žížkové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a vstřícnost při zpracování této diplomové práce. Děkuji společnosti Dek a.s., za poskytnutí materiálů, zařízení a prostor pro realizaci vzorků a provedení zkoušek. Děkuji především panu Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D. a panu Ing. Tomáši Kafkovi za odborné konzultace, cenné rady a vstřícnost. Dále děkuji Ing. Tomáši Klossovi za ochotu při zajišťování dodávek materiálu. Velmi si vážím spolupráce s Ústavem automatizace a měřicí techniky, FEKT VUT Brno a Ing. Jakuba Krejčího, s jehož spoluprací proběhla zkouška kondenzace. Část této práce byla vypracována také s využitím infrastruktury centra AdMaS.

## Obsah

1	Úvod:.....	8
1.1	Cíl práce .....	9
2	Ploché střešní pláště .....	10
2.1	Ploché střechy z hlediska plošné hmotnosti .....	10
2.2	Ploché střechy z hlediska počtu střešních plášťů .....	12
3	Zatížení plochých střech větrem .....	15
3.1	Obecný postup návrhu sání větrem.....	16
4	Současný stav k problematice přídržnosti asfaltových hydroizolací s podkladem .....	17
4.1	Minimální technické požadavky na asfaltové pásy .....	18
4.2	Technické a legislativní požadavky na lepené hydroizolační systémy .....	18
4.3	Aktuálně zpracovávaná norma – Stanovení odolnost lepených asfaltových hydroizolací na účinky větrného zatížení .....	18
5	Tepelně izolační a hydroizolační materiály .....	22
5.1	Expandovaný polystyrén EPS .....	23
5.2	Asfaltové pásy.....	23
6	Přídržnost asfaltové hydroizolace k podkladu .....	25
6.1	Metody stabilizace celoplošně lepené hydroizolace .....	25
6.2	Požadavky na přídržnost hydroizolací k podkladu z aktuálně zpracovávané normy .....	26
6.3	Odolnost hydroizolace proti odlupování v průběhu stárnutí .....	27
6.4	Odolnost lepených hydroizolací vůči cyklické únavě .....	28
6.5	Přídržnost samolepicích asfaltových pásů.....	29
6.6	Přídržnost asfaltových pásů s oplechováním.....	31
6.7	Vizuální posouzení přídržnosti hydroizolace s podkladem.....	32
7	Experimentální část .....	35
7.1	Výběr skladby a obecné požadavky na zkušební tělesa.....	35
7.2	Návrh modelů pro sériovou výrobu zkušebních vzorků.....	37
7.3	Návrh zkušebních postupů.....	38
7.4	Výroba modelů.....	39
7.4.1	Výroba modelů pro sledování vlivu teploty a vlhkosti na přídržnosti při aplikaci hydroizolace .....	43
7.4.2	Výroba modelu pro sledování dynamického zatížení, působení vlivu teploty, vlhkosti a kondenzace.....	49



8	Zkouška realizačního vlivu teploty a vlhkosti na přídržnost pásu .....	53
8.1	Experimentální stanovení přídržnosti pásů aplikovaných při různých teplotních a vlhkostních podmínkách.....	53
8.1.1	Úprava zkušebních těles .....	53
8.1.2	Potřebné vybavení .....	53
8.1.3	Postup provedení zkoušky .....	54
8.1.4	Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za velmi nízké teploty .....	54
8.1.5	Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za nízké teploty .....	57
8.1.6	Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za střední teploty .....	59
8.1.7	Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za středně vysoké teploty ..	62
8.1.8	Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za vysoké teploty.....	63
8.1.9	Konečné zhodnocení přídržnosti samolepicích pásů při aplikaci za různých okolních podmínek.....	66
9	Cyklické zmrazování a ohřívání těles.....	67
9.1	Experimentální stanovení přídržnosti po zmrazovacím cyklování .....	67
9.1.1	Úprava zkušebních těles .....	67
9.1.2	Potřebné vybavení .....	67
9.1.3	Postup provedení zkoušky .....	68
9.1.4	Výsledky měření .....	68
9.1.5	Dílčí závěr .....	70
9.2	Experimentální stanovení přídržnosti po ohřívacím cyklování .....	70
9.2.1	Úprava zkušebních těles .....	70
9.2.2	Potřebné vybavení .....	70
9.2.3	Postup provedení zkoušky .....	71
9.2.4	Výsledky měření .....	71
9.2.5	Dílčí závěr .....	73
10	Dynamická zkouška.....	73
10.1	Experimentální stanovení přídržnosti nestacionární metodou .....	73
10.1.1	Úprava zkušebních těles .....	73
10.1.2	Potřebné vybavení .....	73
10.1.3	Postup provedení zkoušky .....	73
10.1.4	Vyhodnocení výsledků .....	74
10.1.5	Dílčí závěr .....	77
11	Kondenzační zkouška.....	78
11.1	Vyvolání kondenzace pod hydroizolačním souvrstvím .....	78

11.1.1	Potřebné vybavení .....	78
11.1.2	Úprava zkušebních těles a vývoj zkušebního postupu .....	78
11.1.3	Vyhodnocení výsledků .....	79
11.1.4	Dílčí závěr .....	81
12	Zhodnocení dosažených výsledků s praktickými dopady do stavební praxe .....	81
13	Diskuze .....	82
14	Závěr .....	84
	Literární zdroje .....	85
	Přílohy vztahující se k praktické části .....	88
	Seznam obrázků .....	98
	Seznam tabulek .....	99
	Seznam schémat .....	100
	Seznam zkratek .....	100

## 1 Úvod:

Vnější klimatické vlivy přirozeně působí na zhotovené stavební objekty, které vlhkostně, teplotně i jinak zatěžují. Základní předpoklady pro zajištění dlouhodobé životnosti staveb představuje vhodná separace objektu od vnějších klimatických vlivů jako je voda, sníh případně vlhkost. Nejčastěji aplikovaným řešením, jenž zamezuje průniku vody v jakékoliv podobě do objektu, jsou již dlouhodobě využívané hydroizolační systémy. Mezi první hydroizolační systémy, využívané u plochého zastřešení, patří tradiční výrobky na bázi asfaltu. Asfaltové hydroizolační povlaky jsou i v době hydroizolačních fólií stále velmi oblíbené. Jedná se o materiály rychle zpracovatelné, jsou cenově dostupné, trvanlivé a při odpovídající kvalitě zpracování zajišťují odpovídající plošnou vodotěsnost.

Myšlenka uplatnění nakloněných rovinných ploch v podobě plochých střešních plášťů, jak je známe dnes, se objevuje v historickém měřítku stavitelství již od starověku a provází toto odvětví s postupným vývojem až k současné architektuře. Současně lze říci, že systém plochého zastřešení je vzhledem ke svému dnešnímu poli působnosti stále velmi rozšířený. Je součástí zastřešení průmyslových objektů s rozsáhlou půdorysnou plochou. Standardně se uplatňuje u zastřešení výškových budov, kde se s výhodou realizují venkovní zahrady s otevřeným prostorem a výhledem do okolí. Případně nachází využití pro rodinné a bytové domy.

Jedinou složkou zamezující průniku vody do objektu přes střešní plášť je tenkovrstvá hydroizolace – asfaltový pás nebo souvrství z těchto pásů. Významnou překážku v dlouhodobé životnosti a také plnohodnotné vodotěsnosti se již dříve projevily nejslabším místem právě nekvalitní povlakové krytiny – nejprve tvořené térovým papírem společně s asfaltem a později oxidovanými pásy. Konstrukce původních komponentů se skládala z térového papíru prosyceného dehtem. Tato historická hydroizolace byla kladena po vrstvách, jednotlivé vrstvy pak byly prolévány asfaltem. Problémy provázely ploché střechy dlouhá léta. Bohužel se vady a poruchy nevyhýbaly ani pozdějším zastřešením například u prefabrikovaných panelových domů. Zde se ukázala aplikace oxidovaných asfaltových pásů a dalších nevhodných materiálů skladby taktéž nepříliš uspokojivým řešením, co se týká dlouhodobé životnosti.

V současnosti je průmyslová výroba hydroizolačních asfaltových pásů na velmi dobré technické úrovni, pomineme-li možný dopad plynoucí z přímé úspory vstupních surovin

a jejich zaměňování za méně jakostní. Současné hydroizolace s polymerem modifikovaným asfaltem v kombinaci s pevnou či pružnou výztužnou vložkou významně překonaly své dosavadní předchůdce. Zlepšila se trvanlivost, fyzikální i mechanické vlastnosti, což vytvořilo prostor pro nové konstrukční možnosti.

Moderní asfaltové hydroizolace umožnily progresivní technické řešení pro aplikaci ve skladbách plochých střech. Jedná se například o mechanické kotvení hydroizolačních asfaltových pásů, nebo asfaltové pásy se speciální samolepicí vrstvou, která přináší pohodlnější pokládku těchto výrobků.

## **1.1 Cíl práce**

Tato diplomová práce je zaměřená na hodnocení soudržnosti asfaltových pásů, které využívají krytinu z asfaltových pásů jakožto jeden z nejrozšířenějších materiálů plochého zastřešení. Pozornost je zaměřená k systému samolepicích asfaltových pásů, které kladou řadu nezodpovězených otázek. Například jakým způsobem jsou pásy vzájemně provařeny a jaká je rovnoměrnost jejich soudržnosti v ploše lze doposud pouze spekulovat, neboť spojení pásu s podkladem není v praxi běžně kontrolováno. Parametr o minimální deklarované soudržnosti samolepicích pásů blíže nespecifikují ani samotní výrobci. Chybějící informace proto znemožňují korektní posouzení plochých střech se samolepicími pásy na účinky větru. Přestože lze na základě výpočtu stanovit větrné účinky. Jednotlivé cíle této práce tvoří následující body:

- Rešerše hodnocení kvality spojení hydroizolačních asfaltových pásů s podkladem ve skladbách plochých střech.
- Navržení zkušebních postupů pro sledování vlivu vlhkosti a teploty na přídržnost při realizaci a také při následném působení těchto vlivů.
- Navržení zkušebního postupu pro vznik a zmražení kondenzátu pod hydroizolačním souvrstvím a hodnocení tohoto vlivu na přídržnost hydroizolačního souvrství.
- Experimentální ověření navržených postupů včetně statické a dynamické zkoušky přídržnosti. Vyhodnocení pomocí tabulek a grafů.
- Zhodnocení dosažených výsledků a rozbor výsledků s praktickými dopady do praxe.

## **2 Ploché střešní pláště**

Střechy jsou stavební konstrukce objektu zabezpečující zpravidla vnitřní chráněný prostor posledního nadzemního podlaží proti účinkům nepříznivých povětrnostních vlivů. V případě plochých střech, hovoříme o konstrukcích se sklonem  $\leq 5^\circ$ . Norma ČSN 73 1901 Navrhování střech, ovšem uvádí sklon do 3 % jako možný pro výskyt kaluží vzhledem k dotvarování konstrukce – například u velkoplošných objektů jako jsou haly. [1]

Mezi hlavní komponenty střešního systému patří nosná konstrukce, střešní plášť, střešní doplňující konstrukce a prvky. Nosná konstrukce zajišťuje statické funkce a přenáší zatížení do svislých nosných konstrukcí. Skladba střešního pláště se obvykle skládá z komponentů hydroizolace (zajišťující ochranu proti průniku vody do vnitřního prostoru), tepelné izolace (plnící funkci pro vytvoření tepelné pohody) a parozábrany (zamezující průniku vodní páry dále do skladby k tepelné izolaci v případě provozů se zvýšenou vlhkostí, případně s funkcí pojistné hydroizolace). Střešní plášť je nejexponovanější částí budovy, neboť je vystaven působení vnějších i vnitřních vlivů. Střešní plášť s povlakovou krytinou musí odolat výrazným teplotním výkyvům, UV (ultrafialovému) záření, biologickým vlivům, statickému a dynamickému zatížení. Z interiéru na něj působí teplota a vlhkost pocházející z vnitřního prostředí.

### **2.1 Ploché střechy z hlediska plošné hmotnosti**

Nosná konstrukce střechy přenáší stálé zatížení (v podobě vlastní hmotnosti skladby) a dále nahodilé zatížení od vnějších vlivů – klimatických podmínek v dané lokalitě jako je vítr, sníh a provozní zatížení v případě střech s provozem. Podle plošné hmotnosti lze ploché střechy rozlišit na následující druhy:

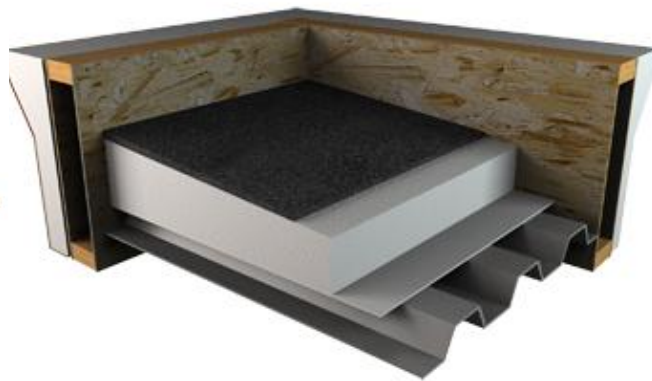
- a) Lehké ploché střechy,
- b) těžké ploché střechy.

### a) Lehká plochá střecha

Za lehké považujeme takové ploché střechy, které vykazují plošnou hmotnost nižší než je  $100 \text{ kg/m}^3$ . Z materiálových variant to jsou lehké ploché střechy ve variantě s dřevěným bedněním nebo s trapézovým plechem (viz Obr. 1, Obr. 2). [1]



**Obr. 1: Ukázka lehké ploché střechy s dřevěným záklopem [2]**

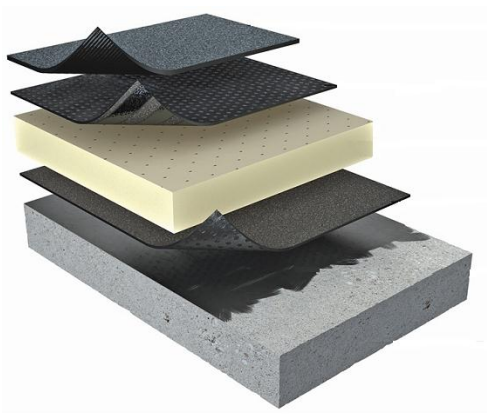


**Obr. 2: Ukázka lehké ploché střechy s trapézovým plechem [3]**

Varianta s trapézovým plechem je často využívána převážně pro halové objekty v případě dřevěného záklopu na trámech či fošnách hovoříme o variantě například pro dřevostavby. Lehký střešní plášť se také navrhuje pro horní plášť dvouplášťové střechy. Z hlediska nízké plošné hmotnosti je nutné brát patřičný ohled na posouzení střechy, co se týká větrného zatížení. Podle návrhu je nutné kotvit jednotlivé vrstvy střešního pláště tak, aby se předešlo jeho poškození vlivem účinků sání větru. Lehké ploché střechy mají nízkou tepelnou setrvačnost, je proto dle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov důležitá, aby byl jejich součinitel prostupu tepla nižší, než je požadované, či doporučené u střech s obvyklou hmotností. [1,4]

### b) Těžká plochá střecha

V případě konstrukčního provedení těžké ploché střechy tvoří nosnou konstrukcí železobetonová stropní deska. Jedná se o druh, který je svými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi vhodnou variantou pro provozní střechy – pochůzí, pojízdné či zelené. Navrhují se ale také pro varianty dvouplášťových střech ale i pro klasické skladby (viz Obr. 3), neboť mají na rozdíl od lehké varianty dobré tepelně akumulční vlastnosti a jsou proto v našich podmínkách často využívány i pro rodinné domy. Vzhledem k difuzním vlastnostem betonu se do prostředí s běžnou relativní vlhkostí do 60 % a teplotou do  $24^\circ\text{C}$  nemusí používat parozábrana. [4]



**Obr. 3: Těžká plochá střecha s nosným železobetonovým stropem [5]**

## **2.2 Ploché střechy z hlediska počtu střešních pláštů**

Střecha se podle vybraného konstrukčního řešení může skládat z různého počtu střešních pláštů. Jednotlivé pláště jsou pak odděleny vzduchovou mezerou. Z tohoto hlediska rozlišujeme na varianty:

- a) Jednoplášťové,
- b) dvouplášťové,
- c) několikaplášťové.

Všechny tři uvedené varianty jsou dále rozšířeny na druhy podle napojení vzduchové mezery (případně větracích kanálků) na vnější prostředí. Toto odvětrání slouží k odvádění vlhkosti ze skladby ploché střechy.

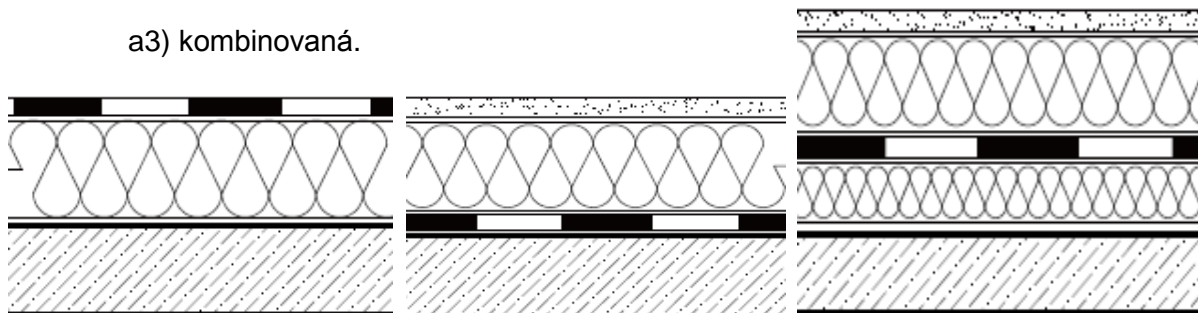
### **a) Jednoplášťová střecha a její varianty**

Jednoplášťová střecha odděluje vnitřní (chráněný) prostor od vnějšího prostředí pouze jedním střešním pláštěm. Není zde záměrně vytvořena vzduchová mezera, tak jako je tomu v případě dvouplášťové střechy. Jednotlivé vrstvy střešního pláště jsou proto kladeny kontaktně a fixovány buď lepením či mechanickým kotvením. Jednoplášťové ploché střechy nabízí široké spektrum využití. Navrhují se jak pro střechy bez provozu tak pro střechy s provozem, kde se jedná o skladebné varianty pochůzí, pojízdné případně střechy vegetační. V těchto případech se jedná o kombinaci jednoho druhu základní skladby (dimenzované pro daný provoz), která je odseparovaná a doplněná o užitnou vrstvu. Mezi základní skladby jednoplášťových skladeb, z nichž jsou odvozeny další výše uvedené provozní varianty, patří tato tři druhy skladeb:

a1) S klasickým uspořádáním vrstev,

a2) inverzní,

a3) kombinovaná.



a1) Klasická

a2) Inverzní

a3) Kombinovaná

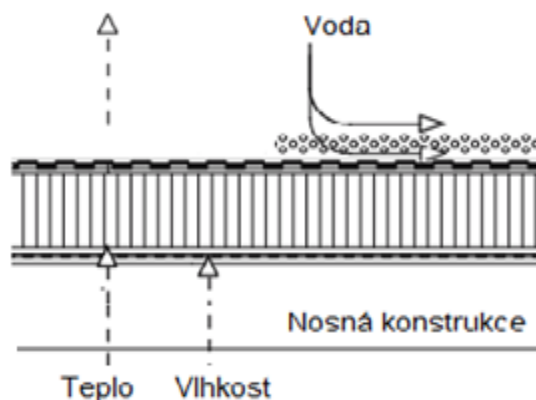
Pro tuto práci je vhodné zaměřit pozornost zejména na skladbu s klasickým uspořádáním vrstev, neboť se jedná o variantu, která bude provázet celou praktickou část.

#### **a1) Klasická skladba**

Skladba s klasickým pořadím vrstev nazývaná také jako konvenční či klasická, je označení pro skladbu charakteristickou hlavní hydroizolační vrstvou na horním povrchu, kde se nachází v kontaktu s vnějším prostředím. Hydroizolace je v případě skladby s požadavkem na tepelně-izolační funkci umístěna na tepelném izolantu z expandovaného pěnového polystyrenu (EPS), na minerální vatě nebo na polyisokianurátových deskách (PIR). Asfaltová hydroizolace může být provedena variantou jednovrstvou – fixovaná mechanickým kotvením. Dalším způsobem je lepená varianta s hydroizolačním souvrstvím o dvou pásech na tepelném izolantu EPS. V tomto případě je spodní asfaltový pás samolepicí a nadlehlá hydroizolace (v podobě asfaltového pásu s dekorem) je celoplošně natavená. Z polohy hlavní hydroizolace (což je od interiéru nejvzdálenější komponent s nízkou difúzní propustností) je zřejmý vysoký difúzní odpor této skladby. Do těchto plášťů se při problémech s vlhkostí zabudovávají větrací komínky. Wayne Tobiasson [7], z národní asociace střešních krytin (NRAC) však důrazně varuje, že ventilační otvory jsou naprosto nevhodné pro systémy bez parozábran, kde vytvářejí komínový efekt a dotují skladbu vlhkostí. Na nosnou konstrukci – pod tepelný izolant se proto doporučuje aplikace parozábrany proti průniku vlhkosti do skladby a hromadění kondenzátu v tepelném izolantu, který by narušoval tepelně-izolační vlastnost. Skladba s pojistnou hydroizolací (parozábranou) se doporučuje pro prostředí s návrhovou teplotou vnitřního vzduchu  $\geq 20\text{ °C}$  a relativní vlhkostí  $\varphi \leq 60\%$ , bez parozábrany je omezena návrhová teplota vnitřního prostředí



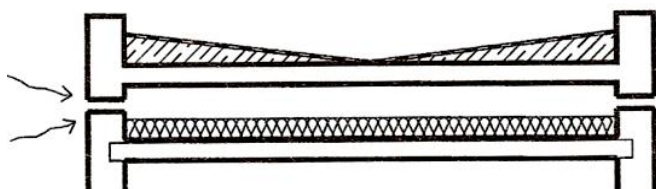
$\leq 24^{\circ}\text{C}$ , vlhkostní limit je neměnný. Odseparovaný horní povrch skladby může být opatřen další vrstvou (kačírkem viz Obr. 4) pro zlepšení odolnosti hydroizolace vůči mechanickému poškození, proti přehřívání a účinkům větru. [4,6,7]



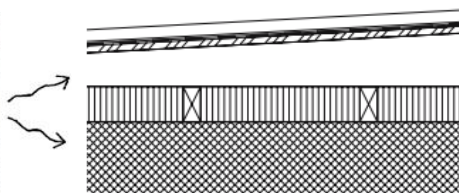
**Obr. 4: Skladba s klasickým uspořádáním vrstev (proudění tepla a migrace vlhkosti) [6]**

#### **b) Dvouplášťová skladba**

Dvouplášťová střeška odděluje vnitřní chráněné prostředí dvěma střešními pláštěmi. Horní plášť s hydroizolací odolává nepříznivým povětrnostním vlivům. Asfaltové pásy jsou zde aplikovány (u varianty těžkého horního pláště) na betonový podklad nebo (v případě lehkého horního pláště) na dřevěný záklop. Spodní plášť opatřený tepelným izolantem zajišťuje funkce tepelně-izolační. Oba pláště odděluje vzduchová mezera, spojená s exteriérem průduchy (uvádí se, že 3% spád spodního povrchu vrchního pláště podporuje proudění vzduchu). Tento systém vzduchové výměny vyrovnává tlak vodní páry uvnitř dutiny s exteriérem. Tím je zajištěn odchod případného kondenzátu, který může vznikat v zimě a naopak v teplém období například v létě dochází k jeho vysychání. V tomto efektu spočívá výhoda odvětrávaných střešních oproti střeším kontaktním, kde může docházet k hromadění kondenzátu. [4,6]



**Obr. 6 Schémata dvouplášťové ploché střechy – větrané s těžkým horním pláštěm [4]**

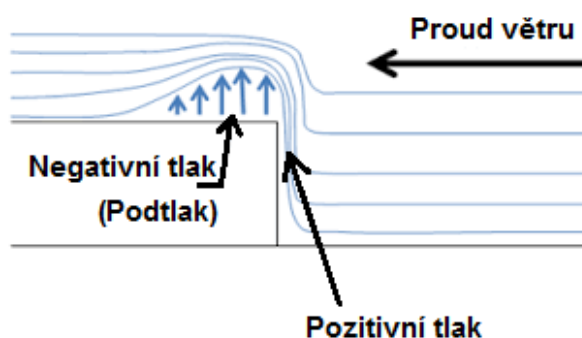


**Obr. 5: Schémata dvouplášťové ploché střechy – větrané s lehkým horním pláštěm [6]**

### 3 Zatížení plochých střech větrem

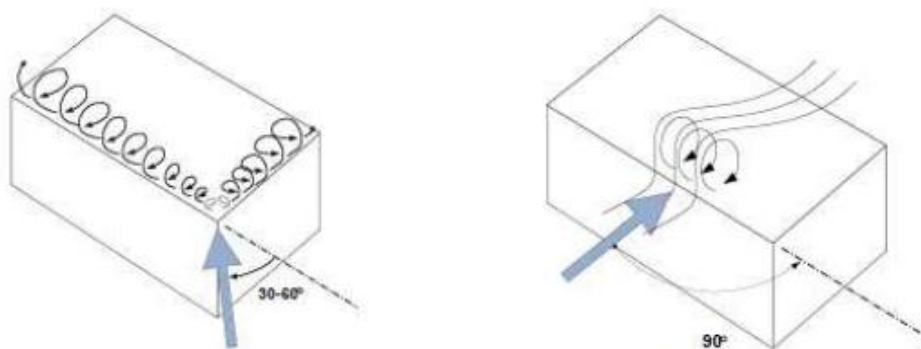
Zatížení větrem je definováno jako tlak působící na určité plochy konstrukce nebo jako síly působící na části konstrukce. Vítr naráží na překážky stojící mu v cestě, čímž dochází k odklonění původního směru i ke změně síly. Vítr se při styku s budovou odklání a vzniká pozitivní tlak.

Vítr obtéká okraj střechy v analogii s Obr. 7. Proudění větru se nad těmito okrajovými oblastmi koncentruje, čímž vzniká na střešním plášti podtlakové sání větru, které je jedním z hlavních důvodů nutnosti stabilizace vrstev střešního pláště. Účinek závisí na větrné oblasti, zastavěnosti okolního prostředí a také na výšce objektu. Možnosti stabilizace hydroizolačních povlaků, které nabízí lepené systémy, jsou uvedeny dále na straně 25 v kapitole 6.1.



Obr. 7: Schéma vzniku podtlaku vlivem proudění větru [26]

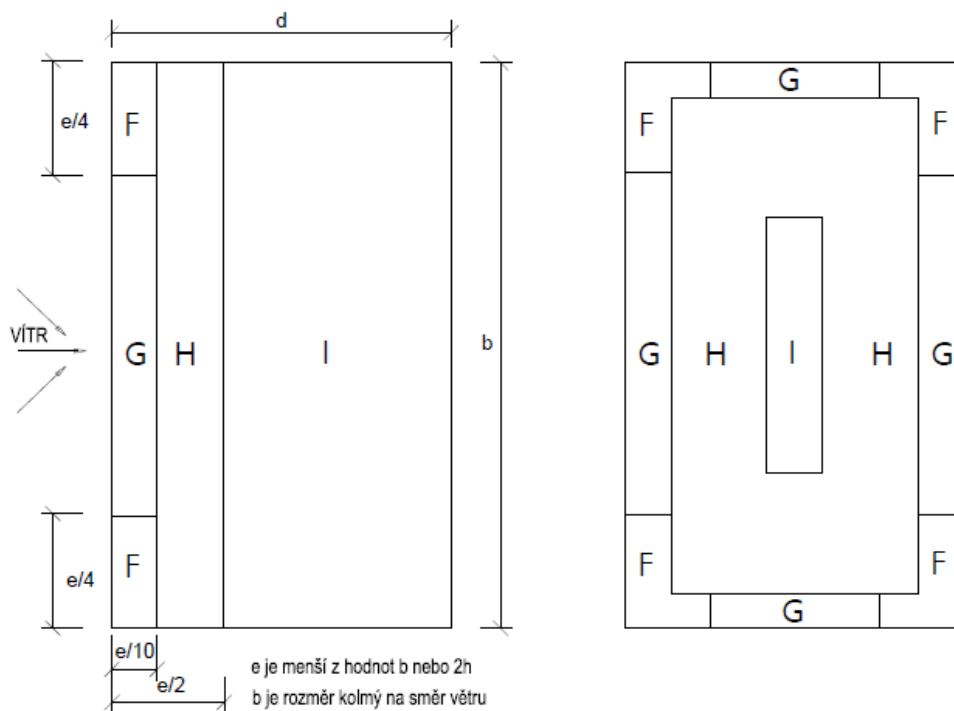
Charakteristické plochy s účinky podtlaku se nachází za oblastí atik. Vítr působící v kolmém směru k okraji střechy nebo šikmo k rohové oblasti způsobuje kuželovité víry, které vedou ke zvýšení zatížení větrem (viz Obr. 8). [24, 25, 26]



Obr. 8: Schéma vzniku vírů v závislosti na úhlu působení větrného zatížení [25]

### 3.1 Obecný postup návrhu sání větrem

U plochých střech je dosaženo nejsilnějšího podtlaku v rohových oblastech střešního pláště – zejména ze strany, kde převládá směr větru. Naopak nejméně intenzivní větrné zatížení se nachází v oblasti vnitřní plochy střešního pláště. Správný návrh střechy je uveden v normě ČSN EN 1991 1-4 Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem. Střecha je v této normě rozdělena do oblastí podle intenzity větrného zatížení. Velikost těchto oblastí se stanovuje podle Obr. 9. A v případě obdélníkového tvaru střechy se tyto oblasti navrhují zvlášť k oběma stranám.



**Obr. 9: Plochá střecha rozdělená na oblasti podle zatížení větrem [24]**

Účinek sání větru je podle návrhové normy ČSN EN 1991 1-4 součtem statické a dynamické složky větru. Normové zatížení větrem se vypočítá z následujícího vzorce:

$$w_e = q_b \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

$q_b$  – základní střední tlak větru [ $\text{N/m}^2$ ] (hodnota ročního maxima doby návratu 50 let)

$c_e(z_e)$  – součinitel expozice (udává závislost působení větru na výšce a typu terénu)

$c_{pe}$  – součinitel aerodynamického tlaku (závislost tvaru a velikosti překážky, rozložení tlaku na dílcích oblastech střechy)

Důležitým parametrem výpočtu je také větrná oblast, ve které se střecha nachází. Výsledné silové účinky uvádí Tabulka 1. pro střechy splňující následující podmínky:

kategorie terénu II až IV, absence výrazně vyšší budovy v okolí posuzované střechy maximální sklon terénu 5 %, čtvercový nebo obdélníkový tvar budovy a zanedbatelný tlak vzduchu působící na vnitřní povrchy.

**Tabulka 1: Hodnota zatížení od silových účinků větru podle ČSN EN 1991 1-4 [24]**

Větrná oblast	Výška budovy [m]	Vnitřní plocha [kPa]	Okraj [kPa]	Roh [kPa]
1	10	-1,4	-2,3	-2,8
	18	-1,6	-2,6	-3,3
	25	-1,7	-2,8	-3,6
2	10	-1,7	-2,8	-3,5
	18	-2	-3,2	-4
	25	-2,1	-3,5	-4,4
3	10	-2	-3,4	-4,2
	18	-2,3	-3,9	-4,9
	25	-2,6	-4,2	-5,3

#### **4 Současný stav k problematice přídržnosti asfaltových hydroizolací s podkladem**

Hydroizolační systémy plochých střech s asfaltovými pásy jsou široce využívanou možností zastřešení s velkou variabilitou. Klasická fixace s pomocí natavení spodního líce asfaltového pásu plynovým hořákem, je využívána od doby průmyslové výroby těchto hydroizolací, kdy byly překonány térové lepenky. Za toto dlouhé období až doposud nejsou u asfaltových hydroizolací na plochých střechách uváděné informace o přídržnosti asfaltových pásů, pro případnou zpětnou kontrolu provedené práce nebo pro posouzení přídržnosti stávající skladby. V platnosti je norma ČSN EN 16002 Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení odolnosti proti zatížení větrem mechanicky kotvených pásů a fólií pro hydroizolaci střech. Pro lepené asfaltové hydroizolační systémy plochých střech s podkladem z EPS však normový předpis zavedený není. Aktuálně se však zpracovává norma (viz kapitola 4.3)

#### **4.1 Minimální technické požadavky na asfaltové pásy**

Norma ČSN EN 13707 Hydroizolační pásy a fólie - Vyztužené asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Definice a charakteristiky stanovuje minimální technické požadavky na asfaltové pásy, vyrobené podle evropských harmonizovaných norem. Mezi požadavky jsou uvedeny vlastnosti ve smyslu tloušťky pásu, množství asfaltu bez plnidel, či stékavost při zvýšené teplotě jako faktory ovlivňující kvalitu pokládky. Jedná se o požadavky pro zkoušení hodnocení kvality výstupního produktu. K současné problematice hydroizolačních systémů plochých střech doposud nejsou harmonizované evropské normy. K vlastnostem minimální přídržnosti asfaltových pásů k podkladu se v současnosti nevyjadřují ani samotní výrobci či dodavatelé asfaltových pásů.

#### **4.2 Technické a legislativní požadavky na lepené hydroizolační systémy**

Pro hydroizolační systémy využívající lepidla ke stabilizaci hydroizolace k podkladu, také doposud neexistuje harmonizovaná evropská norma. Informace nenalezneme ani v těchto mezinárodních závazných předpisech – ETAG (řídící pokyn pro evropská technická schválení), CUAP (společná dohoda o postupu posuzování pro evropské technické schválení bez řídícího pokynu), EAD (evropský dokument pro posuzování). Pro testování lepených systémů tudíž nejsou stanovená jednotná pravidla. Většina států nemá požadované zkoušky na odolnost lepené skladby zatížené větrem. Technická specifikace UEAtc popisuje požadavky a zkušební metody na lepené hydroizolační systémy. Na tento předpis navazuje holandská norma BRL 1511/4. Dokumenty uvádějí jednotlivé parametry upevnění hydroizolace k podkladu i provedení vzájemných spojů hydroizolace. Vhodné je ovšem poznamenat, že se jedná primárně o požadavky platné pro pryžové hydroizolační krytiny. Situace se ovšem zlepšuje a v současnosti se zpracovává norma pro testování soudržnosti lepených hydroizolačních systémů využívajících asfaltových pásů. [8]

#### **4.3 Aktuálně zpracovávaná norma – Stanovení odolnost lepených asfaltových hydroizolací na účinky větrného zatížení**

Jedná se o předpis pro zkoušení odolnosti lepených hydroizolačních systémů, který zpracovává CEN (Evropský výbor pro normalizaci) ve znění: Hydroizolační asfaltové pásy – Stanovení odolnosti lepených asfaltových pásů pro hydroizolační systémy střech na účinky větrného zatížení.

Tento předpis bude určen pro modelovou konstrukci skládající se z komponentů nosné vrstvy a tepelné izolace, na niž je bodově nebo plnoplošně lepená asfaltová hydroizolace. Předpis zahrnuje také rozšířené pravidla aplikací, vztažené k charakteristickému zatížení pro snížení množství potřebných testů, které by byly nutné po zavedení změny ve skladbě vzorku. Z hlediska nezbytného zařízení k provedení experimentu a zatěžovacího schématu lze říci, že se u tohoto předpisu jedná o částečně přepracovanou verzi předpisu ETAG 006 – SYSTÉMY MECHANICKY KOTVENÝCH PRUŽNÝCH STŘEŠNÍCH HYDROIZOLAČNÍCH POVLAKŮ. [9,10]

### **Přístroje a zařízení pro zkoušku sání větrem:**

Mezi nezbytné zařízení k provedení zkoušky sání větru na modelu je zapotřebí tohoto vybavení:

- a) Podtlaková komora, teploměr,
- b) ventilátor se systémem kontroly měření podtlaku a záznamem,
- c) chronometr.

#### **a) Podtlaková komora**

Zkoušení modelu skladby ploché střechy s lepenou asfaltovou hydroizolací se provádí v podtlakové komoře. Rozměry tohoto zařízení jsou dány minimální plochou vzorku, který je stanoven plochou  $4 \text{ m}^2$ . Pokud je jedna délka modelu kratší než 2 m, musí být plocha vzorku  $8 \text{ m}^2$ . Minimem je však šířka modelu 1,5 m. Výška komory musí být taková, aby zaručila rovnoměrné rozložení tlaku na ploše vzorku a neovlivnila jeho deformace. Komora musí být vybavena jedním, či více okny pro pozorování a dále se požaduje, aby na vzorku bezpečně zajistila podtlak  $10 \text{ kN/m}^2$ . Mezi komorou a vzorkem může být pro zajištění tohoto požadavku vloženo těsnění. V prostoru komory je také umístěn teploměr s teplotním rozmezím  $0\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$  s tolerancí  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### **b) Ventilátor a řídicí zařízení**

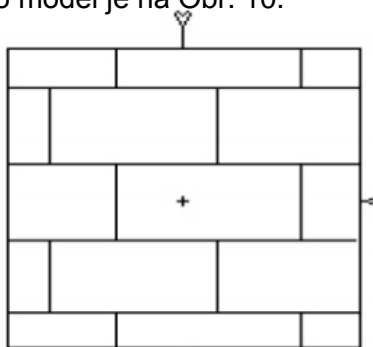
Nedílnou součástí podtlakové komory je zařízení pro vývoj dynamických zatěžovacích cyklů. Jedná se o výkonné ventilátory v kombinaci s ventily, kterými je dosaženo požadovaného vývoje dynamických zátěžových cyklů – simulovaných poryvů větru. Dokumentující zařízení musí splňovat minimální přesnost měření  $\pm 2 \%$  s absolutní hodnotou minimálně  $0,2 \text{ kN/m}^2$ .

### c) Chronometr a registrační zařízení

Chronometr musí vykazovat měřicí schopnost v rozmezí 60 vteřin. V kombinaci s přístrojem registrujícím tlakové účinky se vyžaduje tolerance záznamu menší nebo rovna 0,1 vteřině. Zařízení pro zápis měření musí být schopné ukládat v čase změnu úrovně tlaku, a to každou 0,1 vteřiny během celého zkoušení. Zachování této frekvence zápisu je velmi důležité k prokázání zda, byla v průběhu pokusu dodržena křivka zatížení (viz Obr. 11 a Obr. 12)

### Podklad hydroizolace

Tepelně-izolační desky tvořící podklad hydroizolační vrstvy musí být dobře mechanicky připevněny nebo přilepeny k podkladu. Dostatečné připevnění je nezbytné k tomu, abychom zamezili uvolnění tepelného izolantu od podkladu, čímž by na tomto rozhraní (asfaltový pás – tepelný izolant) vznikla delaminace lepené hydroizolace. Aby podklad umožnil odsávání vzduchu pod hydroizolačním pásem, nesmí být vzduchotěsný. Pokud je podklad vzduchotěsný, musí být umístěny 4 rovnoměrně umístěné otvory  $\varnothing 0,03$  m na  $m^2$ . Tepelně-izolační panely se obvykle umísťují takovým způsobem, aby byl jeden panel ve středu plochy. Zbylé panely se kladou ve stejném směru s odsazením spár. Obvykle používaný výkres pro umístění tepelně-izolačních desek s odstupňovanými spoji pro model je na Obr. 10.

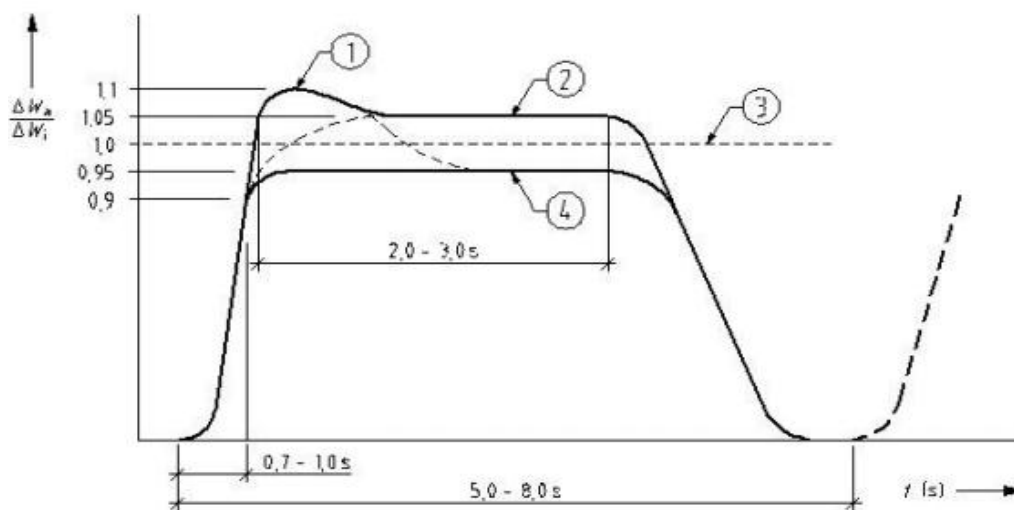


Obr. 10: Příklad vhodného uspořádání tepelně-izolačních desek [10]

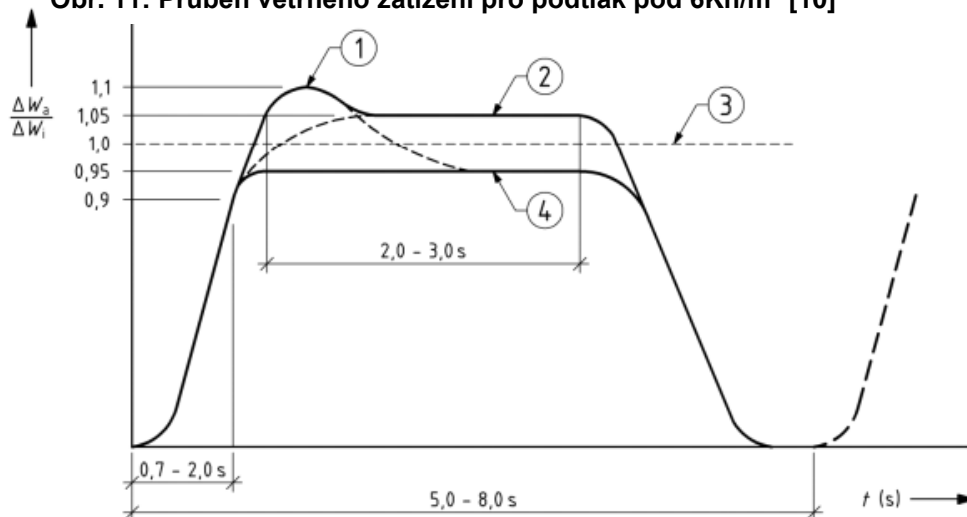
#### 4.3.1 Postup provedení normové zkoušky

Po vytemperování vzorku i zařízení na teplotu  $23 \pm 5$  °C po dobu 16 hodin proběhne přichystání a vyrovnání zkušební vzorku do pracovní polohy (vodorovné nebo svislé) a nainstalování tlakové komory se systémem ventilátorů včetně ovládání a záznamu měření. Tlak v komoře je vždy pro danou sérii cyklů  $n$  (viz Obr. 13) vyjádřen z maximálního zatížení (Tabulka 2). Jednu sérii cyklu tvoří vždy 9 úrovní s celkovým počtem 1415 opakování. Maximální zatížení je pro první 4 cykly  $1000 \text{ N/m}^2$  a s dalšími cykly se navyšuje vždy o  $500 \text{ N/m}^2$ . Každé opakování větrného zatížení musí mít charakteristický průběh podle grafu s předepsanou závislostí času a zatížení viz Obr.

11 a Obr. 12). Zkouška je ukončena porušením vzorku. V případě když porušení nenastává je zkouška ukončena 30. cyklem.



Obr. 11: Průběh větrného zatížení pro podtlak pod  $6 \text{ kN/m}^2$  [10]



Obr. 12: Průběh větrného zatížení pro podtlak  $6 \text{ kN/m}^2$  a více [10]

Značení:

1 – počáteční mez vrcholného zatížení (+ 10 %)

2 – horní mez (+ 5 %)

3 – vrcholné zatížení  $\Delta W_i$ , v [N] v intenzitě= 40 %, 60 %, 80 %, 90 %, 100 %

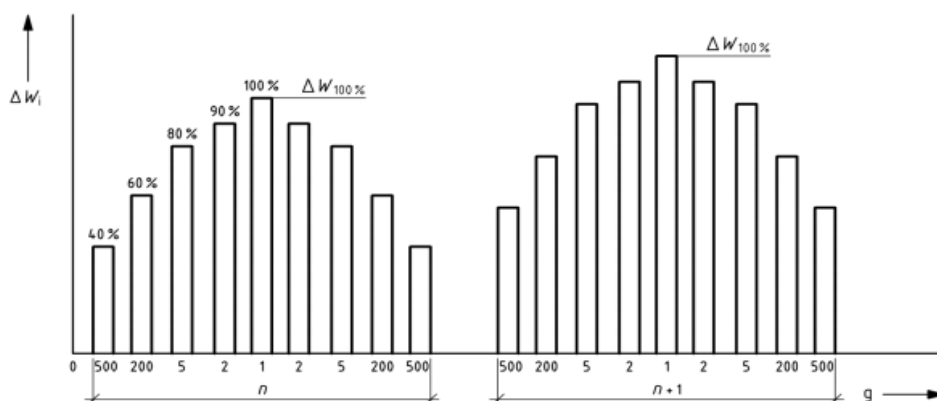
4 – spodní mez (- 5 %)

$t$  – čas [s]  $\Delta W_a$  spodní mez v  $[\text{N/m}^2]$

$\Delta W_i$  – vrcholné zatížení v  $[\text{N/m}^2]$

$i$  – poměrná část  $P_{100\%}$ ; (40 %, 60 %, 80 %, 90 %, 100 %, viz obr 12.)





**Obr. 13: Proporcionální posloupnost sání větru [10]**

$g$  – celkový počet nárazů předepsaných pro poměrná zatížení v cyklu

$n_f$  – počet cyklů až do selhání

$\Delta W_i$  vrcholné zatížení v  $[N/m^2]$ ;

$\Delta W_{100\%}$ ; maximální vrcholné zatížení v cyklu  $[n]$ , pro  $n = 1, 2, 3$ ,  $[N/m^2]$

**Tabulka 2: Maximální podtlak pro dané cykly [10]**

Cyklus $[n]$	$\Delta W_{100\%;n} [N/m^2]$
1	1000
2	1000
3	1000
4	1000
5	1500
6	2000
7	2500
8	3000
.	
.	
$n_f$	
POZNÁMKA: Zatížení se zvyšuje v cyklech až do selhání vzorku. Pokud selhání nenastane je konečným cyklem $n_f$ 30.	

## 5 Tepelně izolační a hydroizolační materiály

Materiálem pro zabezpečení jednoho z hlavních funkčních požadavků ploché střechy – vodotěsnosti, je již tradičně využíván asfalt. Tepelně izolační funkce zajišťuje například expandovaný polystyren. Dnes průmyslově zpracované asfaltové hydroizolace jsou vylepšené modifikací asfaltu a mají typickou vrstvenou konstrukci s plně funkčním

uspořádáním jednotlivých vrstev. Tyto hydroizolační materiály jsou dostupné ve formě asfaltových pásů.

## **5.1 Expandovaný polystyrén EPS**

Pěnový polystyrén je u zateplené klasické skladby s asfaltovou hydroizolací nejčastější tepelný izolant. Součinitel tepelné u pěnového polystyrenu EPS 100 používaného pro ploché střechy bez provozu se pohybuje podle dodavatelských technických listů v rozmezí hodnot  $0,036 - 0,037 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Je proto dobrým tepelným izolantem.

### **• Výroba**

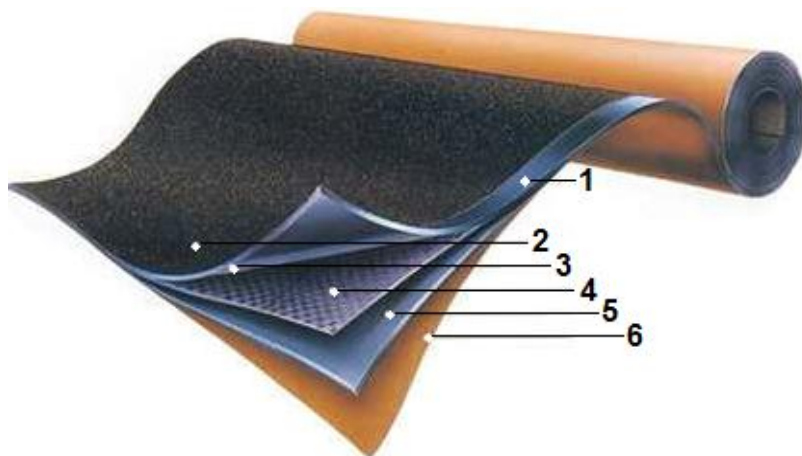
Výroba je spojená z několika etap. Nejprve vzniká granulátu suspenzní polymerací směsi styrenu a pentanu. Granulátové kuličky s průměrem zhruba 1 mm obsahují 6 až 7 % pentanu – lehce vroucího nadouvadla s bodem varu  $36^\circ\text{C}$ . Po napěnění kuliček při  $100^\circ\text{C}$  a fázi odležení se dokončuje expandace a slepení kuliček do bloku s pomocí tepla ve speciální formě. Bloky se krájí na požadované rozměry horkým drátem. [27]

### **• Vlastnosti**

Vzhledem ke způsobu výroby vykazuje polystyren velké smrštění. Pro ploché střešní pláště se proto využívá stabilizovaný polystyrén (s označením S) například EPS 100 S, kde jsou objemové změny minimální. Hodnota 100 určuje pevnost v tlaku v kPa při 10% stlačení, co výrobci a dodavatelé většinou neuvádí je pevnost tohoto polystyrenu v tahu dle ČSN EN 1607. K dispozici je pevnost v tahu u fasádního polystyreni. Uvedené mechanické vlastnosti jsou úzce spjaté s objemovou hmotností výrobku. Současné EPS jsou samozhášivé a lze je vystavit dlouhodobě teplotě  $80^\circ\text{C}$  a krátkodobě až  $200^\circ\text{C}$ , na EPS lze proto aplikovat asfaltové pásy a jejich horní povrch natavovat hořákem. S asfaltem se pěnový polystyren snáší dobře, neodolává však styku s dehtem a organickými rozpouštědly. [27, 28]

## **5.2 Asfaltové pásy**

Hydroizolační asfaltové pásy se vyrábí v mnoha variantách. Jednotlivé druhy se liší tloušťkou asfaltové hmoty a jejím složením (zásadně ovlivňuje životnost hydroizolace – pásy oxidované, modifikované), druhem a umístěním nosné vložky, která dává hydroizolaci mechanické vlastnosti. Asfaltové hydroizolace mají v závislosti na způsobu pokládání a druhu aplikace též rozdílné povrchové úpravy horního a spodního povrchu. Podle umístění ve skladbě se také liší jejich tloušťka a užitné vlastnosti, mají však v zásadě společnou základní strukturu. [14]



**Obr. 14: Ukázka struktury asfaltového hydroizolačního pásu**

1 – Podélné okraje, 2 – vrchní povrchová úprava, 3 – vrchní asfaltová vrstva, 4 – výztužná vložka, 5 – spodní asfaltová vrstva, 6 – spodní povrchová úprava [13]

#### **a) Asfaltová hmota**

Základní hmotou pro výrobu tradičních hydroizolací je ropný asfalt, který je vedlejším produktem destilace ropy. Dalším zušlechťováním – vháněním vzduchu do rozpáleného asfaltu vzniká asfalt oxidovaný. Vylepšením vlastností asfaltu se dosazuje modifikací – směs je doplněná o přísady polymerů za vzniku tzv. modifikovaného asfaltu, čímž se obecně vylepšuje trvanlivost v porovnání s dříve velmi rozšířeným oxidovaným asfaltem. Hydroizolační asfaltová hmota obklopuje v případě asfaltových pásů nosnou vložku po obou stranách – soudržnost vložky s pásem je proto velmi důležitá. Asfaltová hmota se při výrobě navíc mísí s plnivem například s mletým vápencem. [16,18]

#### **b) Modifikace**

Starším tzv. plastomerovým modifikátorem asfaltu, je ataktický polypropylen APP často v zastoupení 17–25 %, který zlepšuje teplotní, mechanickou odolnost a nezpůsobuje vratné elastické deformace. Elastomerový modifikátor SBS (styren-butadien-styren v množství 8–15 %) naopak propůjčuje asfaltu elastické vlastnosti a tím i zlepšuje zpracovatelnost. Tento syntetický kaučuk lépe odolává záporným teplotám, je náchylnější k UV (ultrafialové) záření a při nešetrném natavování nad 220 °C degraduje. Styren-butadien-styren v kombinaci s polyesterovou nosnou vložkou

může při neopatrném natavování způsobovat elastickou deformaci hydroizolace, tzn. že pás s PES (polyesterovou) vložkou (s průtažností 20 do 40 %) je citlivější na protažení při natavování. Po provedení pokládky může nastat vratný efekt – smrštění. V neposlední řadě je SBS podstatou složkou lepicí vrstvy samolepicích pásů. Dodané polymery významně vylepšují ať už flexibilitu, pevnost nebo odolnost výsledného materiálu proti únavě. [15,16,17]

### **c) Výztužné vložky**

Nosná vložka je komponentem asfaltového pásu zajišťující mechanické vlastnosti. Nosná vložka umístěná zhruba uprostřed pásu je pro trvalé střešní pláště nejčastěji s materiálovou bází skelnou (průtažnost pouze 2–5 %) případně polypropylenovou. Vložka ovlivňuje průtažnost a pevnost hydroizolace v tržném zatížení podélném/příčném, které je 1000 N/50 mm pro tkané skelné výztužné vložky a 600–1100 N/50 mm pro polyesterové vložky.

### **d) Povrchové vrstvy**

Oba povrchy pásů, tedy horní a dolní povrch, jsou opatřeny spalitelnou fólií, pokud se jedná o podkladní pásy. Další variantou je křemenný písek při horním povrchu nebo minerální ochranný posyp horního povrchu pro hydroizolace, které vystavujeme kontaktu s vnějším prostředím. V případě samolepicích asfaltových pásů je spodní povrch asfaltu opatřen na místo běžné PE (polyetylen) fólie další asfaltovou vrstvou – samolepicí, která je z hlediska přepravy a manipulace krytá dočasným povlakem. [18]

## **6 Přídržnost asfaltové hydroizolace k podkladu**

### **6.1 Metody stabilizace celoplošně lepené hydroizolace**

U hydroizolačních systémů plochých střech využíváme pro spojení povlakové membrány – asfaltových hydroizolačních pásů s podkladem, z výběru hned několika možných technologií. Zvolení technologie stabilizace je mimo jiné odvozeno od konstrukčního řešení skladby ploché střechy a druhu aplikovaných hydroizolačních pásů. Směrodatným ukazatelem pro zvolený druh stabilizace jsou také okrajové podmínky vnějšího prostředí – větrná oblast, výška objektu a z ní plynoucí větrné zatížení. V jiných případech se jedná o technologické omezení v podobě zákazu používání plamene. V případě samolepicích pásů se uvádí dodatečné mechanické kotvení pro střechy ve výšce nad 25 m. Mezi lepené systémy zajišťující stabilizaci asfaltové hydroizolace s podkladem patří:

- Navařování hydroizolace k podkladu plynovým hořákem s plynulým rolováním pásu je nebezpečný způsob z hlediska potenciálního vzniku požáru. Například v Americe se od něj proto často upouští. Vyžaduje nákladné pojištění prováděcích firem.
- Lepení hydroizolačního pásu k podkladu lepicím tmelem na bázi asfaltu s rozpouštědly tzv. zastudena. V zahraničí se zpříšňuje požadavek na limitní obsah VOC (prchavé organické sloučeniny), což je příčinou omezování tohoto systému.
- Aplikace samolepicích asfaltových pásů je pravděpodobně nejjednodušší způsob pokládky, přesto by měli provádět pokládku zkušení a odborní pracovníci. Ve výškách nad 25 m je doporučeno mechanické kotvení podle kotevního plánu.
- Rolování do litého horkého (oxidovaného) asfaltu nebo rozprostírání subtilnější vrstvy horkého asfaltu bavlněným mopem s násadou tzv. mopování, které je méně trvanlivé než předchozí varianta [10,11]

## **6.2 Požadavky na přídržnost hydroizolací k podkladu z aktuálně zpracovávané normy**

- Celoplošné lepení PU lepidlem

V případě lepení hydroizolace lepidlem je stanoveno charakteristické zatížení  $3,6 \text{ kN/m}^2$ . Musí být splněny odolnosti všech materiálů v podkladu střešního pláště a konstrukce tak, aby vyhověly pevnosti v tahu kolmo k rovině desky dle ČSN EN 1607 minimálně zatížení  $40 \text{ kN/m}^2$ .

- Celoplošné svařování hořákem, pokládka do horkého asfaltu

Zde je pro celoplošně spojené hydroizolace s podkladem standardní charakteristické zatížení  $4,5 \text{ kN/m}^2$ . Přílnavost pro všechny podklady ve skladbě musí být podle ČSN EN 1607 minimálně  $80 \text{ kN/m}^2$ . Pokud není splněný parametr lepené plochy z 90 % nebo nevyhovují soudržnosti podkladu, uvažuje se o charakteristickém zatížení  $3,6 \text{ kN/m}^2$ .

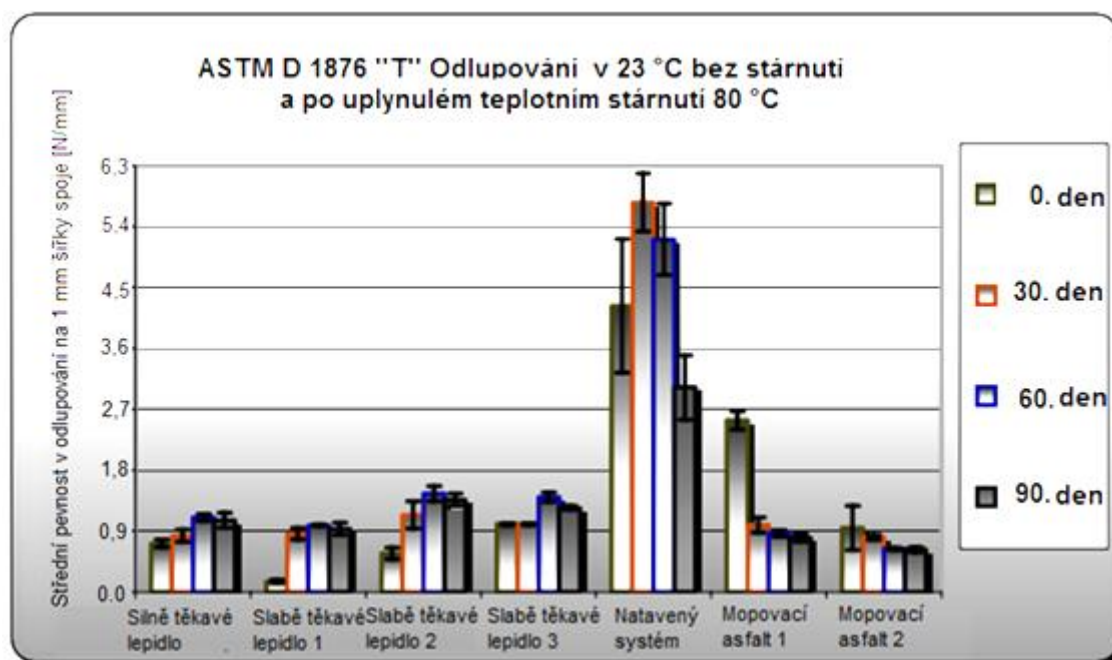
- Celoplošné lepení zastudena

Pokud je vyhověno normovým požadavkům ČSN EN 1607 na soudržnost  $40 \text{ kN/m}^2$  u všech podkladů v daném plášti a je lepená plocha minimálně 90% uvažuje se

charakteristické zatížení 3,6 kN/m<sup>2</sup>. Oblast použití asfaltového lepidla by měla být v souladu s technickým listem daného výrobku. [10]

### 6.3 Odolnost hydroizolace proti odlupování v průběhu stárnutí

Jednotlivé výše uvedené způsoby aplikované pro vzájemné fixování hydroizolačních povlaků, dosahují ve spojení hydroizolací různé soudržnosti. Kersey T. a kolektiv [12] provedli studii na SBS asfaltových pásech zaměřenou na Odolnost proti odlupování dle ASTM D 1876 "T". Tato metoda je svým principem podobná metodě pro stanovení smykové odolnosti hydroizolačních systémů ve spojích dle ČSN EN 12317–1. Zkušební vzorek dvou hydroizolací spojených danou technologií měl rozměr (1×10 palce) tedy 25,4 × 254 mm a rychlost posunu čelisti činila 50 mm/min. Zkoumali také vliv stárnutí na adhezi u příslušných způsobů aplikací. Srovnávaly se vzorky referenční – temperované na 23 °C se sadami vzorků, které prošly zkouškou stárnutí s teplotou 80 °C v intervalu 30, 60 a 90 dnů, což uvádí zjednodušeně jako ekvivalent 10, 20 a 30 let. [12]



Obr. 15: Odolnost hydroizolací proti odlupování při stárnutí – různé aplikační technologie [12]

Původní výsledky byly uvedeny v americké jednotce lbf/inch. Přičemž lbf vystihuje hmotnost jedné libry násobené gravitačním zrychlením tzn. 1 lbf = 0,45359237 kg

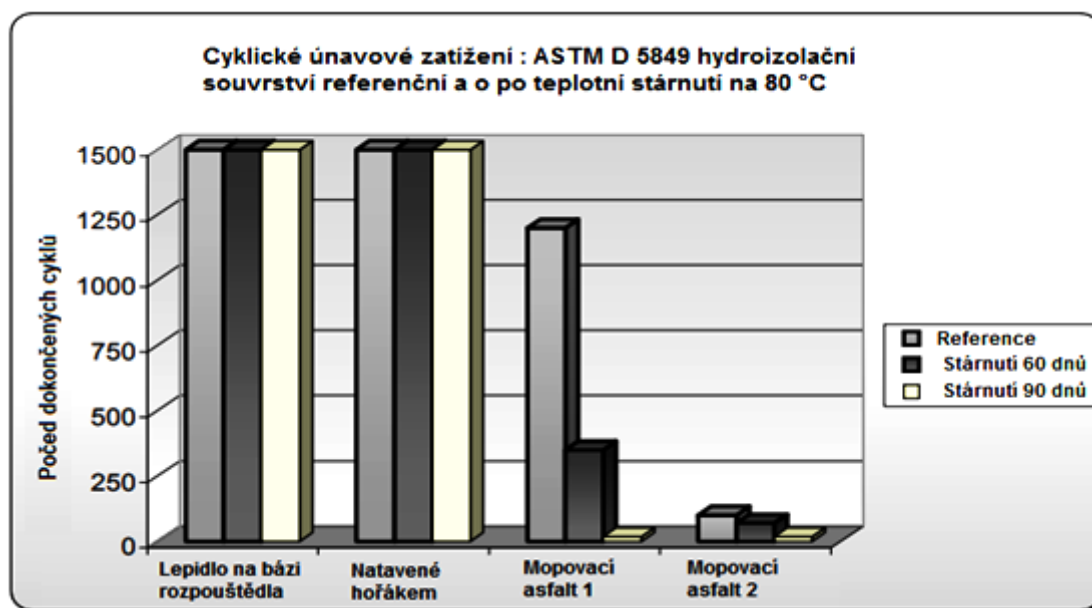
$\times 9,80665 \text{ m/s}^2 = 4,4482216152605 \text{ N}$ . Jednotkou inch = 1 palec (25,4 mm). Podílem získáme střední pevnost odlupování v  $\text{N/mm}^1$  šířky zkoušeného vzorku.

Podle výsledků experimentu z Obr. 15 je celkově nejvyšší pevnost spoje u systému s natavením asfaltových pásů. Dochází zde k roztavení a následnému materiálovému propojení obou pásů. U natavených systémů, lze očekávat zvýšení vzájemné soudržnosti do 10 let existence. Velmi dobře si vedou také systémy využívající lepidlo, kde je zřejmé že, pevnost vazby se stárnutím roste a výborné vlastnosti si zachovává dokonce i po 30 letech. Méně pozitivní jsou ovšem výsledky u technologie rozprostření horkého asfaltu o teplotě  $260^\circ\text{C}$  – tzv. mopování. Tento způsob fixování bitumenových pásů s použitím oxidovaného asfaltu je z dlouhodobého hlediska nestálý. Je zde patrné postupné zhoršování vazby oxidovaného asfaltu. Na trvanlivost vazby do 10 let má vliv též druh oxidovaného asfaltu – v prvním případě je rozdíl velmi zřetelný.

#### **6.4 Odolnost lepených hydroizolací vůči cyklické únavě**

Další zkouškou lepených hydroizolačních systému, kterou provedl Kersey T. a jeho kolektiv bylo zkoušení cyklické únavy. Zkouška provedená podle ASTM D 5849-95 Standardní zkušební metoda pro vyhodnocení odolnosti modifikované asfaltové střešní membrány na cyklickou únavu. Vzorky spojené ze dvou vrstev asfaltových pásů SBS (s vložkou ze skelného vlákna  $75 \text{ g/m}^2$ ) byly přilepeny k dřevěným nosičům epoxidem a temperovány 24 hodin na pokojovou teplotu. Podle autorů je právě cyklická únava celkově dobrým ukazatelem toho, že lepidla na bázi rozpouštědel jsou z dlouhodobého hlediska mnohem lepší v udržení integrity na rozdíl od systému s mopovým horkým asfaltem. Prokázat toho lze oddělením výřezů z modifikovaných pásů po vychlazení v mrazícím zařízení. Pásky spojované asfaltem lze oddělit snadno při teplotě  $0^\circ\text{C}$ . Membrány lepené za studena mají spoje velmi pevné a některé nelze oddělit ani při  $-40^\circ\text{C}$ . Tato houževnatá pevnost spojů lepených za studena a svařovaných hořákem je způsobena zmonolitněním obou pásů a odtud plyne vynikající odolnost proti únavě při porovnání s lepením oxidovaným asfaltem. Zkouška cyklické únavy je obvykle ukončena po 500 cyklech. Dlouhodobou odolnost asfaltové vazby na cyklické zatížení mají membrány zastudena lepené a svařované neboť jsou po 1500 cyklech bez

porušení. [12]



Obr. 16: Výsledky odolnosti lepených hydroizolačních souvrství na cyklickou únavu [12]

## 6.5 Přídržnost samolepicích asfaltových pásů

Samolepicí asfaltové pásy jsou charakteristické speciální lepicí úpravou, která je průmyslově plošně nanесena na spodním povrchu. Požadujeme, aby samolepicí vrstva vynikala povrchovou přilnavostí pro instalaci na střeše a bezpečně tak odolávala zatížení větrem. Povrch pásu zároveň nesmí být natolik adhezní, aby při vyšších okolních teplotách nastaly komplikace se sejmutím ochranné fólie. Zásadním parametrem samolepicího materiálu asfaltového pásu je jeho schopnost spojit se s různými typy povrchů. U plochých střech je tímto podkladem:

- silikátová konstrukce,
- dřevěné bednění,
- plech,
- tepelně-izolační desky (PIR, EPS).

### a) Vlivy na přídržnost samolepicího pásu

Předpokladem pro kvalitní přilnavost samolepicích pásů je vhodně připravený povrch, který je předmětem pokládky hydroizolace. Povrchy, kde hrozí zhoršení kvalitního přilnutí vlivem prašnosti by měly být penetrovány. Nevhodné jsou taktéž povrchy mokré. Přilnavost samolepicího pásu dále závisí na druhu podkladu a jeho vlastnostech:

- pórovitosti,

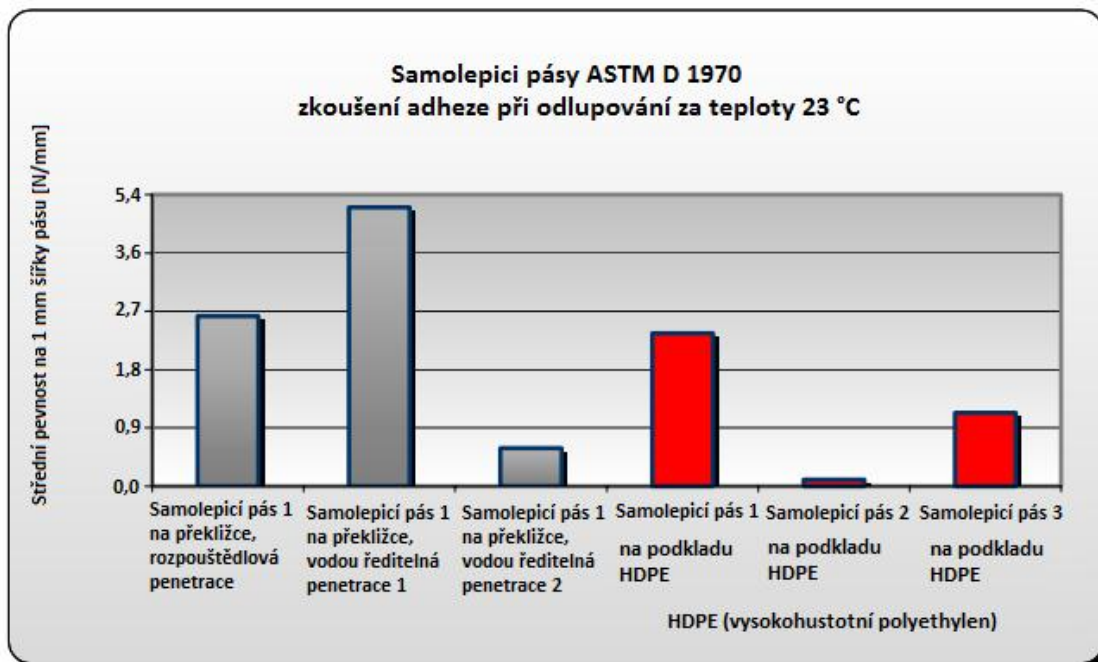


- hrubosti povrchu,
- soudržnosti povrchových vrstev podkladu.

Pokládka musí být provedena zodpovědnou osobou neboť je zapotřebí uplatnit patřičnou preciznost a zkušenosti při natavování pásů. V opačném případě mohou být pásy přetaveny nebo naopak nezaktivovaná samolepicí vrstva. Mezi další faktory ovlivňující přídržnost patří:

- Zvolený typ hydroizolačního materiálu,
- stav rolí asfaltového pásu (je otázkou skladování),
- klimatické podmínky při provádění hydroizolace a větrné podmínky,
- druh penetrace (viz. Obr. 17). [19]

Na okamžitou přídržnost samolepicího pásu má vliv také okolní teplota. Za nízkých teplot je proto vhodné pásy před aplikací ponechat v teplejším prostředí. Některé zdroje uvádí, že se výrobci shodují na limitní aplikační teplotě samolepicích pásů 10 °C. Pokud jsou tyto pásy před pokládkou v teplém prostředí je jejich lepicí schopnost i při nízkých teplotách dobrá. Z obrázku 16 je zřejmé, že přídržnost pásu ovlivňuje také výběr penetrace i samotného hydroizolačního materiálu [12]



Obr. 17: Adheze samolepicích pásů při teplotě 23 °C – vliv penetrace na podkladu z překližky a také rozdílné hodnoty adheze u odlišných výrobků na podkladu z HDPE [12]

### **b) Složení samolepicí vrstvy**

Spodní adhezní vrstva zajišťující lepicí funkce může obsahovat směs složenou z těchto složek:

- 3 až 10 % kopolymeru styren-butadien-styren (SBS),
- 4 až 11 % kopolymeru styren-isopren-styren (SIS),
- 20 až 33 % uhlovodíkových lepivých pryskyřic,
- 0 % plniva,
- zbytek směsi je zastoupen asfaltem hodnotou penetrace dle zkoušky ASTM 140 d-mm v 25 °C.

Zakomponování PVB (polyvinylbutyral) z druhotné suroviny získané z mezivrstvy čelních skel automobilů do směsi se ukázalo jako výhodné z hlediska pozitivního efektu lepicí složky i snížení nákladů, neboť tato pryskyřice výrazně zlepšuje adhezivní vlastnosti i při menším obsahu SIS. [20]

Ke zkoušce stanovení přilnavosti samolepicích asfaltových pásů se uplatnila testovací metoda z řady ASTM (American Standard Test Method), jak uvádí dostupný patentní list [20]. Jedná se o test měřící přilnavosti samolepicích pásů k překližce. Test přilnavosti byl proveden na samolepicích pásích aplikovaných při laboratorní teplotě i při nízkých teplotách jako je 5 °C. Při testu samolepicího asfaltového pásu k překližce odkud se nalepený pás strhával, bylo za laboratorní teploty dosaženo přídržnosti 1,2 kPa bez obsahu PVB v lepicí vrstvě a 2,2 kPa u směsi obsahující PVB. V prostředí 5 °C byly přídržnosti nižší, v tomto případě se jednalo o hodnoty 0,5 kPa a 1,0 kPa s přídavkem PVB. [20]

## **6.6 Přídržnost asfaltových pásů s oplechováním**

Nedílnou součástí plochých střešních plášťů jsou v některých případech také oblasti v napojení hydroizolace na klempířské prvky. Jedná se o detaily, které jsou nejslabším místem hydroizolační vrstvy. Přechody respektive spoje hydroizolace na tyto klempířské prvky jsou namáhané u mechanicky kotvených systémů větrným zatížením (tangenciálními silami) Na tyto oblasti působí výrazné teplotní přechody (mrznoucí voda na povrchu pásu) -20 °C a +5 až 35 °C tedy procesy zodpovědné za zkrácení, rozpínání a vznik takových napětí. Na hodnocení adheze modifikovaných asfaltových pásů natavených k oplechování byl proveden praktický výzkum (podle ČSN EN 12317-1 Hydroizolační Pásky a fólie – Stanovení smykové odolnosti ve spojích), který uvažoval s následujícími materiály a faktory:

- Typ asfaltového pásu (modifikovaný SBS),
- typ podkladního materiálu (titanzinkový, měděný, pozinkovaný plech),
- typ úpravy podkladního plechu (oxidovaná, modifikovaná penetrace),
- délky spoje: 100, 120, 150 mm,
- teplota: -20 °C, 23 °C a 50 °C.

#### **a) Vliv délky spoje**

Délka spoje s teplotním namáháním výrazně ovlivňuje odolnost spojů u všech druhů podkladních plechů. Nejlepší smykové odolnosti lze dosáhnout za nízkých teplot (porušení pásu přetržením) s rostoucí teplotou se tato odolnost snižuje, jelikož dochází k měknutí pásu a porušení vzniká sjížděním hydroizolace z plechu. Pozitivní je proto při vysokých teplotách větší délka spoje neboť změna spoje z délky 100 mm na 150 mm zlepšila smykové odolnosti o 41–76 %.

#### **b) Vliv penetrace na plechu**

V experimentu se prokázalo zlepšení pevnostních vlastností spojů penetrací pouze při některých okrajových podmínkách. S použitím penetrace se zlepšily výsledky z hlediska prodloužení spojů. Pevnosti tržného zatížení se ovšem spíše zhoršily. Pro kombinaci modifikovaného pásu a penetračního laku na bázi modifikovaného asfaltu lze ve spoji očekávat výrazně nižší tržné pevnosti než při použití laku oxidovaného. Modifikovaná penetrace naopak zlepšuje prodloužení pásu ve spoji. U penetrací se neprokázal předpoklad lepších vlastností pro modifikovanou penetraci, tedy penetraci s kvalitnější vstupní surovinou.

#### **c) Vliv podkladního plechu**

Ve výzkumu se uvádí, že materiál podkladního plechu, na něhož je asfaltový pás natavený nemá jednoznačný vliv na smykovou odolnost. U kombinace TiZn (titanzinek) plechu a oxidované penetrace se tržné pevnosti zvýšily při vysokých teplotách u spojů délky 100 mm. Nebyl ovšem prokázán trend změny tržné pevnosti pro jednotlivé vzorky plechu. [21]

### **6.7 Vizuální posouzení přídržnosti hydroizolace s podkladem**

Nejjednodušší a v praxi odborných znaleckých posudků též využívanou možností, jak zhodnotit stav krytiny a odhalit případné nedostatky ploché střechy je vizuální posouzení střešního pláště. Ochranou vnitřního prostoru v objektu proti srážkové vodě a vlhkosti, tvoří u plochého zastřešení hydroizolační vrstva (u jednovrstvého systému do 5 mm). U hydroizolačních systémů s klasickým uspořádáním vrstev se nachází hydroizolace

v kontaktu s vnějším prostředím, kde je dobře viditelná při prohlídce střechy. Podobně vidíme tuto krytinu u jednovrstvého systému – mechanicky kotvených plochých střech, kde není projektováno dodatečné přetížení. Vzhledem k relativně subtilní tloušťce asfaltové hydroizolace je zřejmá i malá prostorová tuhost této krytiny. Špatné soudržnosti povlaku s podkladem tedy mohou napovídat odchylky od rovinnosti, jako jsou puchýře, zvlnění hydroizolace v ploše, u atik, nebo často nedbale provedené a netěsné návaznosti hydroizolace na detaily.

#### **a) Nesoudržnost vlivem objemových změn a pohybu podkladu**

Nesoudržnosti hydroizolačních povlakových krytin z asfaltových pásů v podobě zvlnění mohou být důsledkem objemových změn asfaltového pásu, případně jsou vyvozeny nestabilitou podkladu – dochází k jeho plošnému posunu. Problémy se smrštěním hydroizolací za vzniku vln a jejího oddělení od podkladu způsobují objemově nestálé materiály nebo také hydroizolace s PES (polyester) vložkou, kde se vložka v průběhu natavování předeplnula a následně vznikla vratná deformace. U pohybů nedostatečně stabilizovaných podkladů stavebních konstrukcí jsou vzniklé nesoudržnosti patrné z šikmého zvlnění hydroizolace v oblasti atik.

#### **a) Nedostatečné provaření asfaltových pásů**

Špatné provaření hydroizolací napoví o nepříliš zdařilé technologii jejich aplikace. Jedná se o netěsné spoje, kde asfaltové pásy neprošly dostatečnou teplotou (oxidované 230 °C, modifikované max. 190 °C). Výsledkem je nespojení nebo oddělení hydroizolace od podkladu, ve spojích nebo v návaznosti na další střešní konstrukce, kde nedošlo k exaktnímu provaření obou pásů. Často jsou předmětem těchto problémů také návaznosti krytiny na klempířské prvky. U samolepicích pásů je výsledná kvalita přidrženosti s podkladem ve velké míře ovlivněna prohřátím těchto pásů plynovým hořákem při jejich aplikaci. Při nedostatečném prohřátí samolepky, které vede k jejímu zaktivování nelze očekávat od přidrženosti samolepicího pásu k podkladu plnohodnotné užité vlastnosti [17, 22, 23]

#### **b) Puchýře pod hydroizolací**

Viditelné boule pod hydroizolací jsou známkou její nesoudržnosti s podkladem. Tyto anomálie se projevují u plnoplošně stabilizovaných hydroizolačních systému k pevnému podkladu – například betonu. Negativní účinek puchýřů na hydroizolační vrstvě střešního pláště bývá často synergii několika vlivů. Prvním předpokladem pro jejich vznik je nekvalitní provedení samotné pokládky asfaltového pásu, kdy je asfaltová hmota

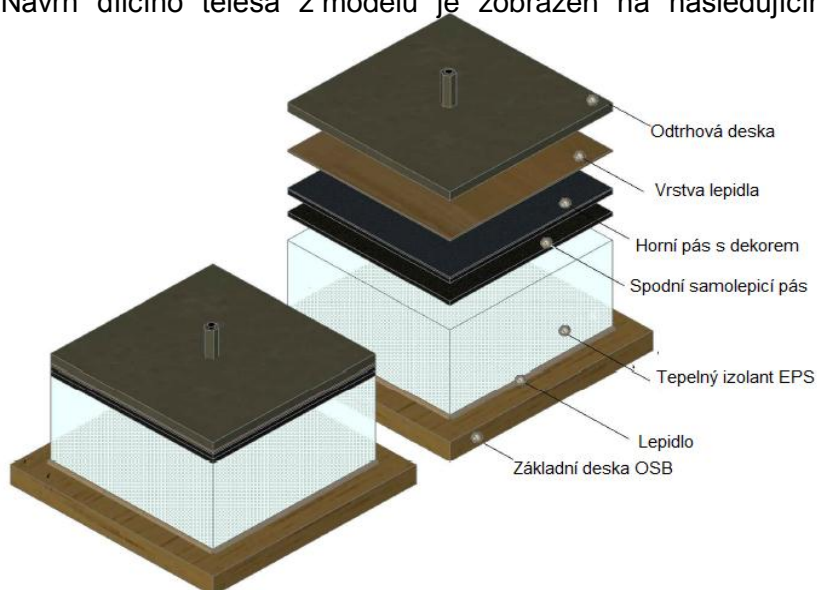
špatně spojená s podkladem, případně místy vůbec nepřilnula. Přilnutí pásu negativně ovlivní i nečistoty, nerovnost i nadměrná vlhkost podkladu. Samotné puchýře pod hydroizolací vytváří mechanismus vlhkosti. Jedná se o proces, za který jsou zodpovědné expanzní tlaky při vzniku páry z kondenzátu uvnitř střešního systému. Zdroj vlhkosti, který je v tomto ohledu velmi častý, lze přisuzovat nesprávnému návrhu konstrukce nebo změně provozně technických podmínek užívání budovy, kdy dochází ke změně tepelně vlhkostních podmínek. Vlhkost se v teplém období mění na páru a proniká pod hydroizolaci. Zde se pára rozpíná a vlivem přetlaku odlepuje a odtrhává asfaltový pás od podkladu za vzniku charakteristických puchýřů. Jedná se o cyklický proces přechodu vlhkosti na kondenzát a naopak, čímž dochází k postupnému poškozování spoje a porušování soudržnosti hydroizolačního souvrství s podkladem. [21, 22, 23]

## 7 Experimentální část

Experimentální část si klade za cíl blíže zodpovědět otázky týkající se přídržnosti hydroizolačního souvrství k tepelnému izolantu z EPS. Jedná se o zkoumání přídržnosti samolepicích asfaltových pásů. Cíle práce jsou uvedeny v kapitole 1.1 na straně 9.

### 7.1 Výběr skladby a obecné požadavky na zkušební tělesa

Pro zkoušené modely, respektive dílčí vzorky je zvolená skladba s klasickým uspořádáním vrstev. V praxi se jedná o nejčastěji využívanou skladbu ploché střechy – více uvedeno na straně 13. Hydroizolační souvrství se bude skládat ze dvou asfaltových pásů, které budou vzájemně provařeny plynovým hořákem. Spodní asfaltový pás se samolepicí vrstvou spodního povrchu se přilepí k podstatně méně teplotně odolným materiálům – pěnovému polystyrenu (EPS). Tepelně-izolační vrstvu EPS přilepí napěňující polyuretanové lepidlo. Lepidlo se bude aplikovat celoplošně na únosný a dobře soudržný podklad abychom eliminovali možnost porušení vzorku v oblasti tohoto spoje. Návrh dílčího tělesa z modelu je zobrazen na následujícím obrázku:



**Obr. 18: Návrh konstrukce zkušebního tělesa pro destruktivní zkoušení soudržnosti hydroizolačního souvrství s podkladem**

#### **Obecné požadavky na zkušební tělesa a zajištění těchto požadavků**

Pro účel tohoto výzkumu je z hlediska sledovaných kritérií (přídržnost hydroizolace k podkladu z tepelného izolantu při teplotních a vlhkostních vlivech), nezbytné stanovit jasné požadavky na formu a zhotovení zkušebních těles. Nevyhovující konstrukce, či provedení zkušebních těles by mohlo mít negativní vliv na samotné měření a

provedení zkoušek. Pozornost modelů je zaměřena na následující vlastnosti, které jsou shrnuty v těchto bodech:

- a) konstrukce zajišťující provedení odtrhové zkoušky
  - b) hmotnost umožňující přemístění modelu, případně jednotlivých těles
  - c) optimální velikost modelů pro maximální využitelnost materiálů
  - d) zajištění sériové výroby vzorků v rámci jedné plochy
  - e) zajištění přehlednosti z hlediska umístění vzorků v ploše
  - f) zachování velikosti dílců a jejich přesnosti
  - g) zhotovovací postupy modelu přiblíženy co nejvíce realitě
  - h) možnost osamostatnit jednotlivá zkušební tělesa z plochy
- a) K provedení dynamické a statické zkoušky bude zachován půdorysný rozměr těles s plochou skladby 200 × 200 mm. Jedná se o velikost těles, na něž lze dobře aplikovat silové měřicí zařízení. Totožný rozměr využívá ke zjištění soudržnosti podkladu na fasádách předpis ETAG 004.
- b) Pro případ tohoto experimentu se bude jednat o lehkou variantu skladby. Model pro aplikaci pásů při různých teplotních a vlhkostních podmínkách bude mobilní a splní podmínku o manipulaci. Podkladní vrstva je proto navržena ve variantě lehké skladby z běžně dostupné konstrukční desky OSB. Deska OSB je z hlediska mechanických vlastností dostačujícím podkladem pro účely modelu.
- c) Model je navržen s ohledem na maximální využitelnost jednotlivých skladebných materiálů. Proto je šířka skladby navržena na využití celé šířky asfaltového pásu i plného formátu OSB desky, bez nutnosti dořezávání. Při řezání dílců z tabulí pěnového polystyrenu EPS o rozměru 1000 × 500 mm je téměř bezzbytku spotřebována každá z nich. Řezání dílců EPS odporovou strunou na stole doplněném o posuvné dorazy je podpořena přesnost a jednotná rozměrová tolerance zkušebních těles. Takovým způsobem je práce efektivnější, snižuje se její objem a dochází ke zlepšení využitelnosti času i materiálů.
- d) Na jedné OSB desce opatřené podkladem z EPS se pokládají pásy v celé šířce 1000 mm, což vychází celkem pro 4 modely s půdorysnou plochou skladby 200 × 200 mm. Na modelu skladby lze uplatnit izolační postupy svařování pásů podobně, jak je aplikují izolační v praxi. V předpokladu je, že při natavování pásu z rozvíjející se role

pojme natavená plocha vždy sadu vzorků, čímž je zajištěna rovnoměrnost výroby. Při postupu svařování každého tělesa zvlášť bychom tuto rovnoměrnost nezachovali. Sériová výroba je proto v případě tohoto experimentu velmi důležitým faktorem.

- e) Po kompletizaci modelu budou zkušební vzorky s již dokončenou skladbou stále fixovány lepidlem v ploše k základní desce. Základní deska bude společná pro všechna tělesa v rámci OSB. Toto řešení pomáhá zajistit přehlednost vzorků v rámci celé plochy. Lze tudíž lehce identifikovat vzorky boční, ze střední plochy, případně určit které byly nataveny z počátku nebo při konci plochy.
- f) Pro skladbu zkušebních těles bude zajištěna odpovídající přesnost jednotlivých dílců skladby, které budou předmětem posuzovaných ploch při zkouškách odtrhu. Dílce skladby z EPS budou řezány s tolerancí 1 mm odporovou řezačkou.
- g) Materiály pro zhotovení modelu jsou běžně dostupné a používané pro skladby ploché střechy. Způsoby provádění skladby také odpovídají reálné praxi. Výjimkou bude aplikace horního asfaltového pásu u velkoplošného modelu. Tam používám postupy pro co nejlepší rovnoměrnost přitlaku nataveného pásu pro eliminaci vlivu ubývající hmotnosti role při natavení.
- h) Před transportem zkušebních těles na dynamickou zkoušku, zmrazovací případně ohřívací cyklování, bude základní OSB deska rozdělena kotoučovou pilou a osamostatní se tak jednotlivá tělesa, která budou popsána podle umístění v ploše.

## **7.2 Návrh modelů pro sériovou výrobu zkušebních vzorků**

Jedná se o návrh následujících dvou modelů:

### **a) Model pro sledování realizačního vlivu teploty a vlhkosti na přídržnost hydroizolace při její aplikaci**

Model pro sledování vlivu různých teplotních a vlhkostních podmínek, které mohou ovlivnit soudržnost celoplošně stabilizované hydroizolace, bude zhotoven variantou klasické skladby v lehkém provedení. Plošná velikost modelu i hmotnost bude respektovat přenos celé soustavy z interiéru, (kde se bude provádět podklad) do exteriéru, kde proběhne aplikace hydroizolací. Model s podkladem z OSB (2,5 × 1,25 m), tepelným izolantem EPS 100S tl. 100 mm a hydroizolačním souvrstvím (ze samolepicího a natavovacího pásu) obsáhne 2 × 16 ks zkušebních těles s



vzájemně oddělenou skladbou. Plocha skladby s šířkou jednoho asfaltového pásu v délce 2 m zajistí standardní natavení horního pásu plynovým hořákem v analogii s praxí. Pásky se budou svařovat od středu modelu ke krajům.

#### **b) Model pro tělesa dynamické zkoušky, působení vlivů teploty, vlhkosti a kondenzace**

V tomto případě se bude jednat o velkoplošný model podobného konstrukčního provedení jako v předchozím případě. Výstupem budou opět vzorky 200 × 200 mm. Rozměr celkového modelu bude vycházet z aplikace dvou hydroizolačních pásů vedle sebe s délkou hydroizolace 7,5 m. Celková plocha bude činit 2,5 × 7,5 m. Vzhledem k výsledné adhezi, kterou chceme mít co nejrovnoměrnější, bude snahou maximálně eliminovat proměnlivé faktory, které by ji mohly ovlivnit. Natavení se proto uskuteční v interiéru se stabilní teplotou, kde nedochází k pohybu větru a tím odvracení plamene. Na čerstvě položený pás nebude vyvozen lokální tlak chůzí při natavování. Naopak bude zajištěn přítlak nerozbalenou roli asfaltového pásu, válenou po čerstvě navařeném pásu. Tím se vyvolá plošný přítlak a eliminuje se důsledek ubývajících hmotnosti pokládaného pásu s dekorem, jehož přítlak se zmenšuje. Kontinuita pohybu natavované role zajistí dva pracovníci – jeden po každé straně role.

### **7.3 Návrh zkušebních postupů**

Zde jsou uvedeny návrhy zkušebních postupů pro experimentální stanovení:

- a) Realizačního vlivu teploty a vlhkosti na přídržnost hydroizolace při její aplikaci,
- b) vlivu teploty a vlhkosti na přídržnost již zabudované hydroizolace,
- c) vlivu kondenzace na přídržnost již zabudované hydroizolace.

#### **a) Návrh experimentálního stanovení přídržnosti pásů aplikovaných při různých teplotních a vlhkostních podmínkách**

Pokládka samolepicího asfaltového pásu a natavení pásu s dekorem bude probíhat ve venkovním prostředí. Hydroizolační souvrství bude provedeno při takových okrajových podmínkách, aby byly obsaženy prováděcí teploty velmi nízké, nízké, střední, středně vysoké a vysoké. Zaznamenávat se bude také relativní vzdušná vlhkost. Na dílčích segmentech skladby se provede zkouška silového odtrhu. Zaznamená se maximální síla, způsob porušení a vyhodnotí se dosažená přídržnost.

**a) Návrh pro sledování vlivu teploty a vlhkosti na přídržnost již  
zabudované hydroizolace**

Na tělesa zhotovené v laboratorním prostředí bude působit zvolená teplota a vlhkost v klimakomoře. Teplota bude zvolená tak, aby demonstrovala reálné podmínky na ploché střeše. Celkem se bude jednat o dva druhy teplotního cyklování. Jednu sérii vzorků podrobíme teplotám nízkým (v rozmezí +5 až -20 °C s vlhkostí 60 až 80 %). Další vzorky projdou cyklováním teplot (+10 až +75 °C s vlhkostí 50 až 80 %). V obou případech se bude jednat o 24 cyklů s hodinovou výdrží na maximální a minimální teplotě s dvěma 30 minutovými přechody – čas jednoho cyklu tudíž zabere 3 hodiny. Tělesa budou po vytemperování na laboratorní teplotu, zkoušena silovým odtrhem a hodnota přídržnosti porovnána s referencí.

**b) Návrh pro sledování vlivu kondenzace na přídržnost již  
zabudované hydroizolace**

Cílem bude vyvolat kondenzaci pod hydroizolačním souvrstvím a tento kondenzát zmrazit. K tomuto účelu bude z vybraných zkušebních těles sejmuta podkladní deska, která by omezovala průnik vlhkosti do skladby. Kondenzát bude pod asfaltovým pásem vytvořen změnou teploty a dotováním skladby vlhkosti. Vzorek bude utěsněn hliníkovou fólií po svém obvodu a umístěn nad zdroj vlhkosti, což zajistí průnik do skladby. Horní povrch hydroizolace bude opatřen chladicí deskou, která zajistí srážení páry na vodu, která následně zmrzne. Zkušební vzorek se bude průběžně vážit, tak abychom mohli monitorovat množství vlhkosti. Po nalepení a vytvrzení lepidla na základní a odtrhové desce bude proveden statický odtrh a výsledek srovnán s referencí (sousedním tělesem z velkoplošného modelu).

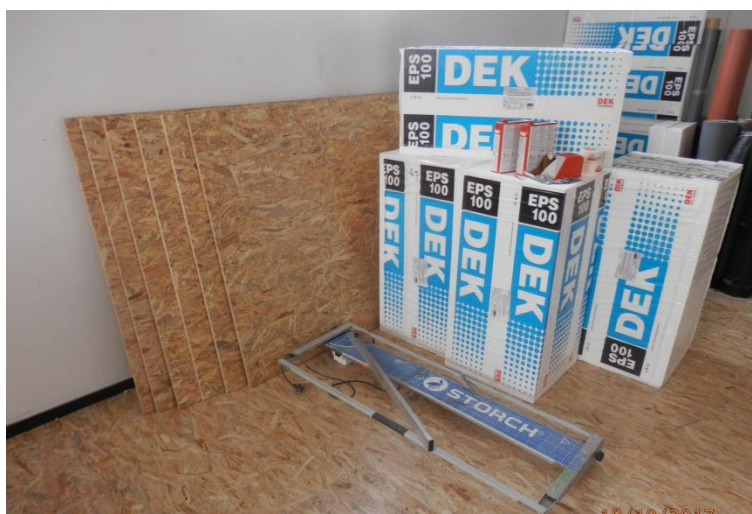
## **7.4 Výroba modelů**

Veškeré nezbytné materiály spojené s výrobou modelů obstarala a dodala společnost DEK a.s. ze skladu svých místních stavebnin. Část z dodávky materiálů pro spodní část skladby je zachycena na fotografii (Viz. Obr. 19)

Zde je výpis všech zpracovaných materiálů:

- OSB desky 2500 × 1250 × 15 mm
- střešní latě 40 × 60 × 4000 mm
- ocelové vruty délky 60 mm
- krepová páska šířky 50 mm
- tepelně-izolační desky EPS 1000 × 500 × 100 mm

- polyuretanové lepidlo – tekutý PUK Börner na polystyrén
- polyuretanové lepidlo – tekutý PUK Börner na asfaltové hydroizolace
- hydroizolační povlak – samolepicí SBS modifikovaný asfaltový pás se spalitelnou fólií horního povrchu – 2 druhy výrobků dále pouze jako Ozn. UG, UK,
- hydroizolační povlak – samolepicí SBS modifikovaný asfaltový pás s pískovým posypem horního povrchu – 2 druhy výrobků dále Ozn. PG, PK,
- hydroizolační povlak – SBS modifikovaný natavovací asfaltový pás s břidlicovým dekorem,
- ocelové kotvící desky 200 × 200 × 8 mm s maticovým trnem 12 mm



Obr. 19: Materiály a zařízení (řezačka polystyrenu) ke zpracování podkladu pod asfaltové hydroizolační souvrství

### Zařízení a pomůcky pro výrobu zkušebních těles

Zpracování modelů celkem sčítalo mnoho pracovních operací. Jednalo se o činnosti, ke kterým bylo zapotřebí elektrického, či akumulátorového nářadí, výroba se ale neobešla ani bez základního pracovního vybavení. Veškeré zařízení a pracovní pomůcky specifikuje následující seznam:

- Popisovací fix
- svinovací a skládací metr,
- zalamovací nůž, nůž na hydroizolace s háčkem,
- špachtle na lepidlo – nerezová,
- čistič PU (polyuretan) pěny
- speciálně upravená špachtle – čistění ocelových desek,
- kladivo,

- AKU vrtačka Dewalt, sada bitů,
- strunová řezačka na polystyrén Storch – odporová,
- ruční kotoučová pila na řezivo,
- plynový hořák, Propan Butanová láhev 10 kg,
- nerezová špachtle – pomůcka při svařování,
- měřicí zařízení – zjištění teploty a vlhkosti okolí při svařování pásů,
- fotoaparát.

## **Materiálová specifikace**

Modely k provedení potřebných zkoušek byly zhotoveny z následujících materiálů:

- **Asfaltové hydroizolace**

- **Asfaltový hydroizolační pás horní**

I) Název výrobku, výrobce: GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL  
KVK PARABIT

II) Tloušťka: 4 mm, plošná hmotnost 4,54 kg/m<sup>2</sup>

III) Balení, rozměry: role 7,5 m, šířka role 1 m

IV) Aplikace: natavením na podklad

- **Asfaltový hydroizolační pás podkladní**

- **Modifikovaný asfaltový pás s jemnozrnným posypem**

I) Název výrobku: Modifikovaný asfaltový pás

Označení: PG, PK

II) Tloušťka: 3 mm, plošná hmotnost 3,7 kg/m<sup>2</sup>

III) Balení, rozměry: role 10 m, šířka role 1 m

IV) Aplikace: samolepicí

- **Modifikovaný asfaltový pás bez posypu**

I) Název výrobku: Modifikovaný asfaltový pás

Označení: UG, UK

II) Tloušťka: 3 mm, plošná hmotnost 3,5 kg/m<sup>2</sup>

III) Balení, rozměry: role 10 m, šířka role 1 m

IV) Aplikace: samolepicí

Celkem byly použity 4 druhy samolepicích pásů, které jsou v celé práci záměrně označeny pouze zkratkou bez uvedení jejich názvu.

- **Tepelně izolační materiál EPS**

I) Název výrobku: ISOVER 100S

Výrobce: Isover Balení, rozměry: jedno balení obsahuje 5 desek

rozměry balení: 1000×500×500 mm

rozměry desek: 1000×500×100 mm

II) Tloušťka: 100 mm

III) Objemová hmotnost: 18 – 23 kg/m<sup>3</sup> (orientační hodnota)

IV) Pevnost v tahu: 100 kPa (orientační hodnota)

- **Lepicí hmota**

- **Lepidlo na bázi polyuretanu k lepení tepelné izolace**

I) Název výrobku: PUK

Výrobce: Bärner

II) Balení: 2 kg plechovka

III) Fyzikální forma výrobku: výrobek je v tekuté formě

IV) Příprava výrobku: před aplikací je nutné plechovku s lepidlem pouze protřepat, další příprava není nutná, lepidlo se aplikuje pomocí přibaleného nástavce.

V) Základní složka: izokyanáty

- **Lepidlo na bázi polyuretanu k lepení hydroizolací**

I) Název výrobku: PUK Bachbahnenkleber

Výrobce: Bärner

II) Balení: 2 kg plechovka

III) Fyzikální forma výrobku: výrobek je v tekuté formě

IV) Příprava výrobku: před aplikací je nutné plechovku s lepidlem pouze protřepat, další příprava není nutná, lepidlo se aplikuje pomocí přibaleného nástavce.

V) Základní složka: izokyanáty

- **Základní deska OSB**

I) Název výrobku: OSB deska

II) Balení, rozměry: 16 ks desek, 2500 × 1250 × 16 mm

- **Deska OSB pro fixaci kovové odtrhové desky**

I) Název výrobku: OSB deska

II) Balení, rozměry: 2 ks desek, 2500 × 1250 × 22 mm

- **Vruty**

I) Název: Vrut univerzální se zápusťnou hlavou s drážkou torx AN 9047TX/A2

II) Rozměr: 30 x 3,5 mm

- **Odtrhová deska**

I) Materiál: ocel

II) Rozměry: 200 × 200 × 10 mm

U všech zkušebních odtrhových desek je uprostřed horní plochy přivařená matice se závitěm k upevnění do zkušebního zařízení.

#### **7.4.1 Výroba modelů pro sledování vlivu teploty a vlhkosti na přidržnosti při aplikaci hydroizolace**

Pro sledování vlivů teploty a vlhkosti na přilnavost samolepicích pásů byl zvolen formát soustavy modelu s celkovým rozměrem 1250 × 2500 mm. Spodní část skladby OSB + EPS se zpracovávaly v interiéru Brněnské pobočky DEK, kde se teplota interiéru pohybovala v rozmezí 23±2 °C. Následná pokládka asfaltových pásů a proces natavování probíhal ve venkovním prostředí s různou teplotou a vlhkostí (viz kapitola 8.1). Celkem se jednalo o 10 soustav modelů složených vždy po 32 ks zkušebních tělesech s půdorysnou skladbou 200 × 200 mm. Zhotovilo se tudíž 320 ks zkušebních těles. Ve všech případech se jednalo o soubor technologických procesů, které jsou tvořeny z následujících činností:

- Příprava OSB desky s dřevěným rámečkem,
- rozměření plochy v rastru 200 × 200 mm s oddělením krepovou páskou 50 mm,
- řezání EPS odporovou řezačkou na požadované rozměry,
- příprava polystyrenových těles pro následné rychlé vyskládání plochy,
- nanesení lepidla PUK Börner v ploše, odstrojení krepové pásky,
- pokládka hlavních EPS těles do lepidla s distančními žebry,
- obvodová fixace EPS dřevěným rámečkem + plošné zatížení celé plochy,

- pokládka samolepicího asfaltového pásu na plochu + okraje,
- navaření horního asfaltového pásu s dekorem + vychlazení souvrství,
- odstrojení obvodového rámečku a bočních přesahů asfaltových pásů,
- prořezání hydroizolačního souvrství v rastru skládaných dílců EPS,
- odstrojení mezilehlé hydroizolace společně s distančními žebry EPS,
- aplikace lepidla PUK Börner na dekor horní hydroizolace, umístění odtrhových desek a následná technologická přestávka na vytvrzení lepidla.

#### 7.4.1.1 Příprava základní OSB desky

Základem modelu tvořící podklad skladby je OSB deska 1250 × 2500 mm. Plocha desky se osově rozměřila na dva čtverce 1050 mm s vnitřním odsazením 50mm. Z jedné dlouhé a přilehlé krátké strany se přikotvily latě se stabilizační funkcí budoucí skladby (viz Obr. 20). V další fázi se dva uvedené čtverce plošně rozměřily na rastr 200 × 200 mm opět s vzájemným rozstupem čtverců délkou 50 mm – tím vznikl prostor pro nalepení krepové pásky totožné šířky, který byl dalším krokem (viz Obr. 21) Páska byla upravena na koncích přehnutím pro snadné strhnutí po rozprostření lepidla.



Obr. 20: Základní OSB deska s rámečkem před lepením



Obr. 21: Základní OSB deska opatřená krepovou páskou

#### 7.4.1.2 Formátování polystyrenu

K vyskládání celé plochy modelu EPS je nezbytné zhotovit několik rozměrově odlišných těles, které jsou uvedeny jakožto tělesa hlavní tvořící vlastní skladbu a prvky distančních žebírků s funkcí dočasněho charakteru. Hlavní tělesa patrná z Obr. 22. s funkcí podkladu na němž bude zkoušena soudržnost samolepicích pásů jsou



v rozměru 200 × 200 mm. Distanční žebra na Obr. 24: s šířkou 50 mm jsou rozdělena na podélná (950 mm) a příčná (200 mm) a obvodová (1000 mm).



**Obr. 22: Hlavní tělesa skladby s hranou 200 mm**



**Obr. 23: Ukázka kónického tvaru distančních žebel**

Formátování se provádělo na řezačce Storch (ilustrační foto viz Obr. 19) s využitím pomocného stolu (z konstrukčního OSB tl. 22 mm) s přesným rozměrem pro vložení řezačky. Horní plocha stolu zvýšená k pracovní ploše řezačky opatřená dorazem s možností posunu zásadně zjednodušila průběh formátování. Konstrukce stolu a zařízení navíc umožnila řezat více desek najednou (viz. Obr. 24) při zachování přesnosti řezu  $\pm 1$  mm.

Žebra pro oddělení hlavních těles skladby byla zpočátku obdélníkového průřezu, který se ukázal být nepříliš vhodným. Po lepení se jejich spodní strana plošně spojila s přebytkem lepidla. Odstraňování žebel se proto velmi zkomplikovalo. Přistoupilo se ke snížení dávek lepidla, zde již ale nastával problém s nesoudržností EPS k podkladu. Žebra se tedy upravila do kónického tvaru (viz. Obr. 23), čímž vznikl dostatečný prostor pro nabývání přebytku lepidla, aniž by se žebra přilepila.



**Obr. 24: Distanční tělesa**



**Obr. 25: Řezačka osazená ve stolu při formátování těles hlavní skladby**



#### 7.4.1.3 Lepení pěnového polystyrenu

Předchystání všech potřebných komponentů a pracovního nářadí před samotnou prací s lepidlem (viz Obr. 26) bylo nezbytné z důvodu jeho včasného zpracování. Tato příprava spočívala v uložení nařezaných komponentů skladby poblíž místa lepení, pro následné urychlení manipulace s dílci EPS při lepení. Tepelný izolant EPS se fixoval k podkladu lepidlem PUK Börner na bázi polyuretanu, které reaguje se vzdušnou vlhkostí za současného napětí – zde se jedná o správný čas pro kladení polystyrenu. V případě promeškání tohoto okamžiku hrozí vznik povlaku, čímž riskujeme, že nenastane kvalitní spoj.



Obr. 26: Přichystané EPS dílce poblíž modelu před lepením

Do ploch 200 x 200 mm mezi připravený podklad opatřený samolepkou se aplikovalo lepidlo rozlitím z plechové nádoby rovnou na podklad. Lití ve formě tří pruhů a rozprostření do plochy se ukázalo jako nedostatečné. Spojení EPS a OSB nebylo plnoplošné a porušení vzorku při odtrhu nastávalo od nesoudržné oblasti. Lepidlo v interiéru s vlhkostí 50 % mnohdy nenapěnilo natolik, aby přilnulo v celé ploše k EPS. Vhodnějším množstvím lepidla se ukázalo lití po obvodu čtverečků i v jeho úhlopříčkách jak znázorňuje Obr. 27.



**Obr. 27: Ukázka způsobu dávkování lepidla**

Nešťastným řešením rozprostření lepidla byla pryžová stěrka, která příliš strhávala vrstvu lepidla. Docházelo k příliš intenzivnímu stažení lepidla, jehož tloušťku vzhledem k transparentnosti s podkladem nebylo lehké rozeznat. Dobrou soudržnost naopak přinesl přebytek lepidla stažený ocelovou stěrkou (viz Obr. 29).



**Obr. 29: Ocelová stěrka pro rozprostření lepidla**



**Obr. 28: Detail reagujícího lepidla se zabarvením doběla**

Po plošném rozprostření lepidla došlo na odstranění pásek. Viditelná reakce lepidla do bílého zabarvení (viz Obr. 28) dávala signál pro kladení připravených dílců skladby. Lepení jedné skladby se provádělo vždy na etapy, aby bylo zaručeno dostatek času pro zpracování lepidla. Vyložená plocha dílci EPS byla posléze stažena fixačním rámečkem z latí a plošně zatížena dostupným materiálem (viz Obr. 30)



**Obr. 30: Plošné zatížení čerstvě nalepeného EPS a pohled na obvodovou fixaci rámečku z latí**

#### **7.4.1.4 Pokládka hydroizolačního souvrství**

Jak z označení vyplývá, jedná se o hydroizolaci ve více vrstvách – v tomto případě se pokládaly hydroizolace dvě. První z nich byl vždy samolepicí asfaltový pás. Jednalo se o kategorii hydroizolací s minerálním posypem horního povrchu – dále označeno PG, PK a hydroizolace se spalitelnou fólií – označeno UG, UK. Hydroizolace se vždy ponechaly před zpracování vytemperovat na teplotu okolního prostředí.

Samolepicí pás s odpovídající délkou, byl po prostorovém vyrovnaní do požadované polohy srolován z  $\frac{1}{2}$  délky. Na jeho povrchu se prořezala separační fólie. Pokládka se provedla odstraňováním fólie a současným rozvíjením hydroizolace. Totožný postup platil i pro druhou stranu hydroizolace. Přebývajících plochy viditelného polystyrenu se podél položeného pásu překryly odřezky z hydroizolace, aby nedošlo ke spálení podkladu z EPS.

Na takto přichystaný podklad se rozvinul a prostorově urovnal natavovací asfaltový pás s dekorem v analogii s výše uvedeným postupem. Horní pás se natavoval plynovým hořákem z polohy, kdy byl z poloviny srolovaný, natavovalo se od osy modelu ke krajům. K natavování modelů  $2,5 \times 1,25$  m se uplatnil častěji využívaný a pro práci na plochých střeších bezpečnější postup, kdy izolátor postupuje směrem vpřed a pohybuje se po nataveném pásu. Takto zpracovaný model se ponechal vychladnout a následně byl přenesen z venkovních podmínek do interiéru budovy.

#### **7.4.1.5 Fixace odtrhových desek s trnem**

Po prořezání hydroizolačního souvrství v rastru (tam kde se nacházel kontakt dělicích žebírek a čtvercových těles skladby vzorků) byla odstrojena žebra s hydroizolačním

souvrstvím. Poslední krok spočíval v rozprostření lepidla na povrch asfaltového pásu s dekorem, položení ocelových desek a technologické přestávce na vytvrzení lepidla.

Později se přistoupilo k efektivnější variantě fixace odtrhových desek s využitím mezičlánu mezi ocelovou deskou a asfaltovým pásem (viz Obr. 34). Na horní pás se přilepila OSB deska 200 × 200 × 22 mm a teprve k ní se fixovala ocelová deska. Tato ocelová deska perforovaná 16 otvory se fixovala vruty do aglomerované desky. Tímto způsobem odpadlo velmi zdlouhavé čištění ocelových desek po každém provedeném odtrhu. Množství týdenních odtrhů již nebylo limitováno počtem odtrhových desek a pomalým vytvrzování lepidla.

#### **7.4.2 Výroba modelu pro sledování dynamického zatížení, působení vlivu teploty, vlhkosti a kondenzace**

Abychom mohli pozorovat vliv teplotního cyklování na přídržnost asfaltového souvrství k EPS, je nutné eliminovat možné proměnné při zhotovení hydroizolačního souvrství. Neboť další vlivy v podobě různých okrajových podmínek – například větru mohou při natavování snížit intenzitu plamene a tak zhoršit výsledné přídržnosti pásů. Vyhodnocování výsledků s dalšími proměnnými, by tvořily komplikace při vyhodnocení. Z výše uvedených důvodů se přistoupilo k novým opatřením z hlediska koncepce modelů. Výroba zkušebních těles probíhala v tomto případě ve stabilních podmínkách laboratorního prostředí. V interiéru budovy při teplotě  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti  $50 \pm 3$  % se provádělo i natavování hydroizolací.

V tomto případě jde o velkoplošný model s půdorysným rozměrem 7500 × 2500 mm. Nutno podotknout, že byly v tomto případě využity mimo běžné izolační postupy i specifické metody zaměřené pro zajištění rovnoměrného plošného natavení. Postup izolátora s hořákem byl v tomto případě čelem vzad, nepohyboval se proto po čerstvě natavené hydroizolaci. Toto ještě horké souvrství bylo vzápětí provaření obou pásů ihned zavalcováno další rolí asfaltového pásu pro zajištění stálého přitlaku a celoplošného přilnutí samolepicího pásu k podkladu z EPS.

#### **Konstrukce modelu**

Plocha tohoto modelu (viz

Obr. 31) tvoří celkem 6 soustav obdobných těm, o kterých bylo pojednáno v kapitole 7.4.1. Byly zde využity analogické postupy, materiály ze seznamu specifikace i pracovní vybavení. Základní plochu tvoří celkem tři desky OSB v podélné orientaci, přičemž jsou tyto desky vedle sebe dvě. Jedná se o dvě plochy pro pokládku dvou



pásů šířky 1000 mm v délce 7500 mm. Obvodový rámeček z latí se zde nahradil polystyrenovým s šířkou 200 mm, který se fixoval s pomocí šroubů přes plastový kompenzátor. Každá plocha se natavovala bez přestávky v celé délce. Stabilizační rámeček obvodový a střední dělicí umožnil chodit po skladbě samotné bez negativního dopadu na vzorky. Dokončený model tvoří celkem 208 kusů zkušebních těles. Pro měření jsou využita zejména prostřední dvě řady těles, neboť se zde předpokládají nejstabilnější výsledné hodnoty.



**Obr. 31: Podklad připravený pro pokládku hydroizolačního souvrství**



**Obr. 32: Připravený podklad k lepení těles z tepelného izolantu**



**Obr. 33: Model s dílčími vzorky po odstrojení distančních žeber**

## 7.5 Způsob vyhodnocení výsledků

Zkušební tělesa tvořící rastr v ploše modelu (viz. Obr. 26) jsou označena a zapsána podle jejich přesného umístění. Jedná se o řady 1 až 8 a sloupce A,B,C,D. Přidružené schémata s fotografiemi vystihují dosaženou přídržnost a způsob porušení. Přesný výpis porušení je uveden v příloze této práce. Výsledné přídržnosti jsou vyjádřeny průměrnou hodnotou, 25% a 75% kvantilem. Přetavené pásy jsou označeny hvězdičkou. Lokální delaminace je ve schématech označena symbolem listu s přehnutým okrajem.

Výpočet maximálního napětí osového tahu

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [kPa]}$$

$\sigma$  ... Napětí při namáhání v tahu [kPa]

$S$  ... Půdorysný průřez vzorku [m<sup>2</sup>]

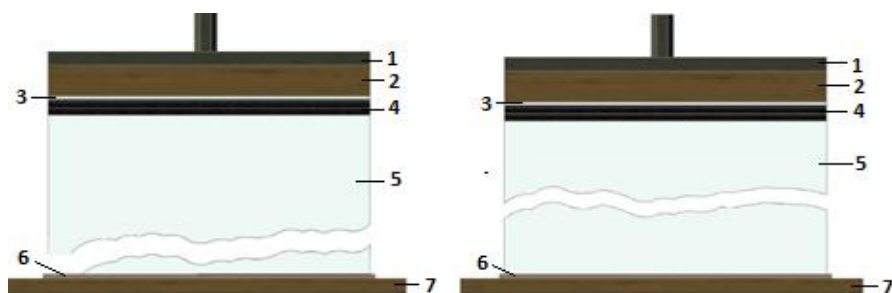
$F$  ... Síla deformující těleso [kN]

## 7.6 Způsob posouzení kvality zkoušených těles

Vzorky odtržené při nízké síle od OSB jsou vyřazeny – nemají vypovídající schopnost o přídržnosti asfaltového pásu. Vhodné je ovšem upozornit, že lepení EPS k podkladu se běžně provádí ve formě pruhů, nikoliv celoplošně. Pokud nastane tento nežádoucí projev delaminace, vzorek se vyřadí.. Vzorky s velmi špatnou aktivací samolepky z 90 % jsou vyřazeny stejně jako vzorky s porušením soudržnosti lepidla i hydroitolace (viz Obr. 34 E).

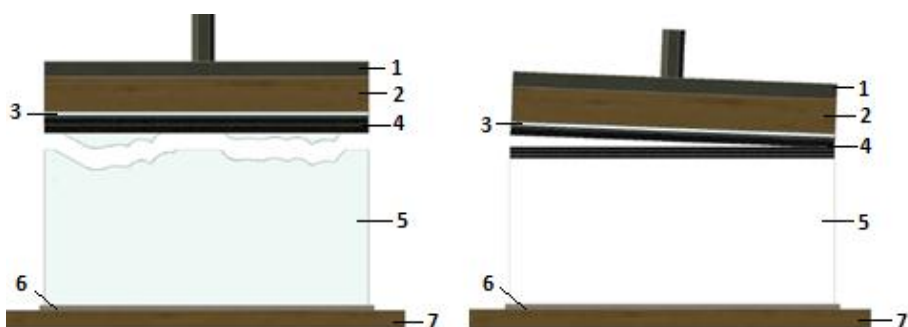
## 7.7 Způsoby porušení zkoušených těles:

Zkušební tělesa mohou být obecně porušena v lepeném spoji k základní desce, horní desce OSB nebo se projeví delaminace mezi dvěma asfaltovými pásy. Další variantou je adhezní porušení spoje lepicího pásu k EPS. Při velmi dobré soudržnosti samolepicího pásu s EPS nastává porušení kohezní v oblasti tepelného izolantu. Možné způsoby porušení jsou na Obr. 34.



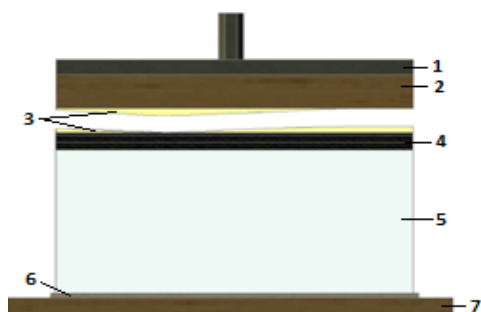
A) Lokální nesoudržnost  
EPS – OSB

B) Kohezní porušení EPS – EPS



C) Adhezní porušení PÁS – EPS

D) Porušení mezi pásy – delaminace



- 1 – Odtrhová deska s trnem fixovaná vruty
- 2 – Horní OSB deska
- 3 – Lepidlo Böhmer PUK na hydroizolace
- 4 – Souvrství z asfaltových pásů
- 5 – Expandovaný pěnový polystyren
- 6 – Lepidlo Böhmer PUK na tepelné izolanty
- 7 – Základní OSB deska

E) Porušení soudržnosti lepidla (vyřazeno)

**Obr. 34: Možné způsoby porušení zkoušeného vzorku**

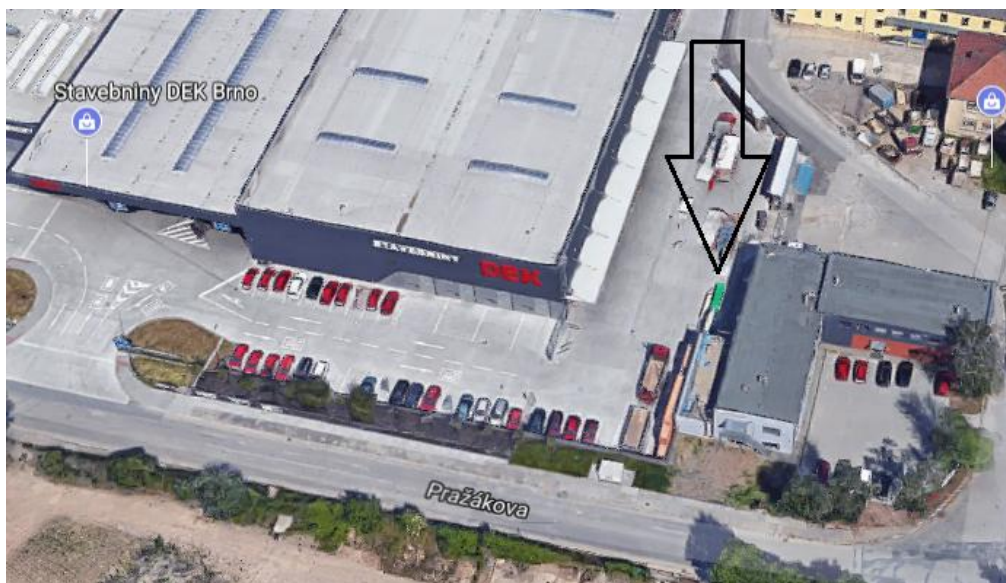
## 8 Zkouška realizačního vlivu teploty a vlhkosti na přídržnost pásu

V této části práce jsou samolepicí asfaltové pásy aplikované při různé teplotě a vlhkosti vzduchu v exteriéru. Cílem je ověřit zda má okolní teplota a vlhkost vzduchu při realizaci vliv na výslednou přídržnost těchto pásů k podkladu.

### 8.1 Experimentální stanovení přídržnosti pásů aplikovaných při různých teplotních a vlhlostních podmínkách

Místo zvolené k natavování pásů v exteriéru bylo v těsné blízkosti stavebnin Dek.a.s. v Brněnské části Horní Heršpice ulice Pražákova. Bližší polohu vymezeného prostoru pro natavování asfaltových pásů vystihuje šipka na Obr. 35. Pásy se natavovaly při následujících teplotách:

- Teplota velmi nízká až nízká 7 až 14 °C,
- teplota střední až středně vysoká 20–24 °C,
- teplota vysoká 28–30 °C.



Obr. 35: Polohové upřesnění pracovního místa

#### 8.1.1 Úprava zkušebních těles

Modely byly vyrobeny bez změny podle kapitoly 7.4.1.

#### 8.1.2 Potřebné vybavení

- Výtahoměrné zařízení s ukazatelem maximální dosažené síly k provedení statické destruktivní zkoušky.
- Měřidlo pro zjištění okolní teploty a vlhkosti



### 8.1.3 Postup provedení zkoušky

V interiéru budovy poblíž šipky Obr. 35 byly provedeny podklady s nalepenou vrstvou EPS. Hydroizolace se natavovaly v exteriéru při různých teplotách a vlhkostech vzduchu. Zhotovené vzorky byly podrobeny statické odtrhové zkoušce přídržnosti provedené při teplotě  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti  $55\pm 5\%$ . (viz Obr. 36).

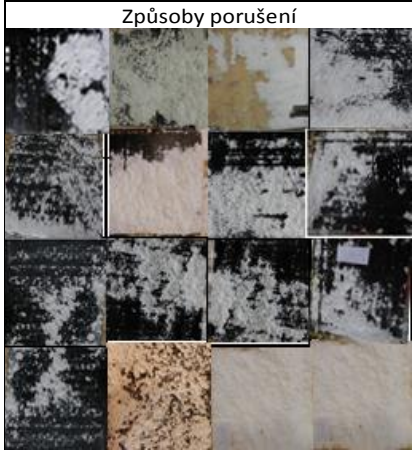


Obr. 36: Výtahoměrné zařízení připravené pro statickou odtrhovou zkoušku

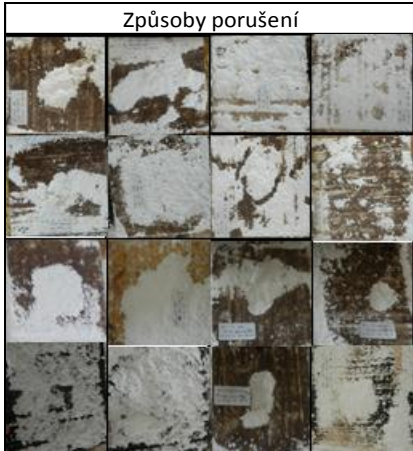
### 8.1.4 Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za velmi nízké teploty

Při okolních podmínkách  $t = 7,4^{\circ}\text{C}$  a  $\phi = 58\%$  se provedla pokládka pásů bez posypu UG, UK i pásů s posypem PG, PG. Cílem bylo zjistit jaká je zpracovatelnost a přídržnost jak u samolepicích pásů s posypem tak u pásů se spalitelnou fólií horního povrchu při velmi nízké teplotě. Okamžitá lepicí schopnost samolepicích pásů byla velmi omezená touto nízkou teplotou. Rozvinutý pás bez separačního filmu bylo možné od podkladu oddělit bez jakékoliv známky jeho přilepení. Asfaltové pásy jsou vlivem velmi nízké teploty hůř zpracovatelné. Při  $7,4^{\circ}\text{C}$  se plamen ochlazoval a pro svaření obou hydroizolací bylo zapotřebí zvýšení intenzity plamene. Pohyb hořáku i rolování pásu se proto musel nevyhnutelně zpomalit. Navaření horního pásu na pásy s povrchovou úpravou ze spalitelné fólie se jevilo snadnější – spálení fólie a natavení asfaltu bylo zřetelně viditelné. V tom spočívá významný rozdíl v porovnání s pásy, kde je jemnozrnný posyp a natavení horního povrchu tohoto pásu je méně patrné. Podkladní samolepicí pás s pískovou povrchovou úpravou vyžaduje k provaření s horní hydroizolací povrch více prohřívát, vlivem čeho dochází za velmi nízkých teplot častěji ke spálení EPS i samotného asfaltu.

**Schéma 1: Maximální dosažené přídržnosti pásů UK, UG a způsoby jejich porušení**

t = 7,4 °C φ = 58 % Samolepicí UK				Způsoby porušení			
45,5	78	60,75	70,5				
79,75	76,25	69,5	53,75				
38,25	70,5	77,5	51,25				
38,5	85,25	106	99,5				

t = 7,4 °C φ = 58 % Samolepicí UG				Způsoby porušení			
24,25	55	95	95,5				
45	17,25	76	52				
56	60,5	51	21,5				
81,75	98	24,5	59				

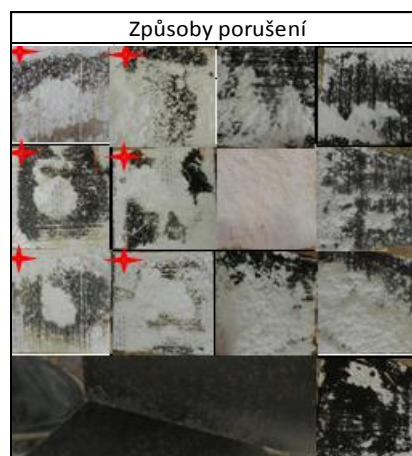
Samolepicí pás UG vykazoval při teplotě 7,4 °C i po prohřátí horší přídržnost lepeného spoje (viz Schéma 1) a vyžaduje zřejmě intenzivnější prohřívání než pás UK. Na ojedinělé delaminace (viz Schéma 1 oblasti s úhlopříčkou) poukazují natavené avšak neprovařené studené spoje asfaltu. Hydroizolace UG vykazovala v mnoha případech i přes prohřívání, které vzniká při natavování velmi špatnou lokální aktivaci a přilnutí k podkladu. Lepší průměrné přídržnosti (viz Tabulka 3) dosahují pásy UK, které při teplotě t = 7,4 °C lepe reagují na teplo. Výsledné přídržnosti obou pásů jsou u 25% a 75% kvantilu srovnatelné.

**Tabulka 3: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů UK, UG (bez jemnozrnného posypu)**

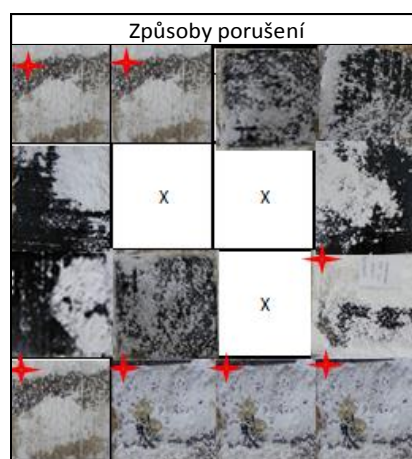
7,4 °C; 58 %		Přídržnost [kPa]			
25% Kvantil	UG	54,3	UK	53,1	
Průměr		59,8		70,5	
75% Kvantil		80,8		78,1	

**Schéma 2: Maximální dosažené přídržnosti pásů PG, PK a způsoby jejich porušení**

t = 7,4 °C φ = 58 % Samolepicí PG			
52	77,75	88,5	77,5
53,5	50,5	117,5	94
42,25	40	85	95
x	x	x	44,25



t = 7,4 °C φ = 58 % Samolepicí PK			
68,5	54	76	84,25
38,75	x	x	61
49,25	88,75	x	93
66,5	71,5	77,5	80



U natavení pásů s jemnozrnným posypem lze za velmi nízkých teplot očekávat četnější plošný výskyt přetavených oblastí vlivem intenzivnějšího prohřívání nutného k provaření pásů. Přetavení (označené hvězdičkou) je zjevné u obou pásů PG i PK (viz Schéma 2). Samolepicí vrstva (obsahující polymerní modifikátory) ztrácí přehřátím adhezní vlastnosti, je také narušen tepelný izolant čímž se sníží přídržnost pásu s podkladem. Po odtržení hydroizolace jsou na povrchu EPS zjevné zbytky spálené asfaltové hmoty. Svižnějším pohybem hořáku vzniká výskyt studených spojů, kde nenastalo plnohodnotné provaření asfaltu (označeno křížky). Dosažené přídržnosti pásů (viz Tabulka 4 a Tabulka 3) mají minimální rozdíly. Je ovšem zřejmé, že zpracovat pásy PG, PK (vyžadující intenzivnější prohřátí) lze při teplotě 7,4 °C jen velmi těžce, aniž bychom se zcela vyhnuli spálení EPS i samotného podkladního pásu.

**Tabulka 4: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů PG, PK (s jemnozrnným posypem)**

7,4 °C; 58 %		Přídržnost [kPa]	
25% Kvantil	PG	48,9	61,0
Průměr		65,5	71,5
75% Kvantil		89,9	80,0

### 8.1.5 Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za nízké teploty

Při okolní teplotě vzduchu  $t = 14,4\text{ °C}$  ( $\varphi = 68,3\text{ %}$ ) je okamžitá lepicí schopnost samolepicích pásů také omezená, dokud nedojde k jejich prohřátí. Sledovala se opět přídržnost a také zpracovatelnost všech čtyř pásů UG, UK a PG, PK. Cílem bylo také zjistit, zda je teplota vzduchu  $14\text{ °C}$  již příznivější pro natavování asfaltových pásů s posypem horního povrchu než teplota  $7\text{ °C}$

**Schéma 3: Maximální dosažené přídržnosti pásů UG, UK a způsoby jejich porušení**

t = 14,4 °C $\varphi$ = 68,3 % Samolep. UK			
64,0	72,5	70,0	56,3
77,3	100,0	107,5	82,5
52,5	80,0	78,0	75,8
57,5	95,0	75,8	89,3



t = 14,4 °C $\varphi$ = 68,3 % Samolep. UG			
108,0	110,0	99,3	98,5
43,0	94,8	116,3	88,8
76,0	87,0	113,0	57,5
49,5	57,0	57,5	32,8



Z červených číslic a nejtmašších polí viz (Schéma 3) je zřejmé, že došlo k nejpohodnějšímu prohřátí samolepky zejména na začátku natavování a uprostřed plochy. Oblast u konce pásů je na snímcích černá bez zbytků EPS, což

vypovídá o nízké teplotě prohřátí samolepicího pásu. Hořák je proto vhodné vést napříč celého pásu až k okrajovým částem, kde je potřeba brát zřetel, aby byl pohyb při přechodu zleva doprava a naopak plynulý.

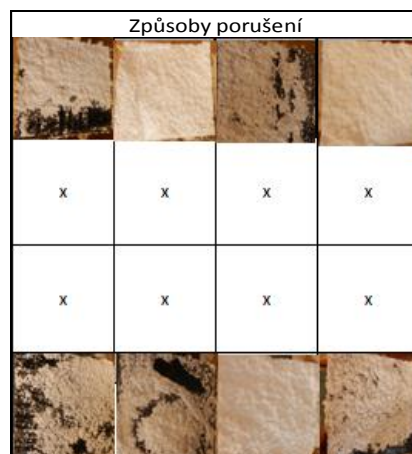
**Tabulka 5: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů UG, UK (bez jemnozrnného posypu)**

14,4 °C; 68,3 %		Přídržnost [kPa]	
25% Kvantil	UG	57,5	65,3
Průměr		81,5	76,5
75% Kvantil		99,1	84,2

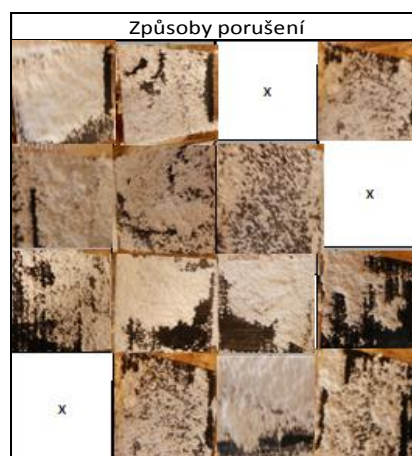
Samolepka při okolní teplotě 14,4 °C již reagovala na teplo hořáku výrazně lépe než při okolní teplotě 7,4 °C, což zlepšilo zpracovatelnost i dosažené přídržnosti aplikovaných pásů (viz Tabulka 5).

**Schéma 4: Maximální dosažené přídržnosti pásů PG, PK a způsoby jejich porušení**

t = 14,4 °C φ = 68,3 % Samolep. PG			
80,0	112,8	90,8	105,0
x	x	x	x
x	x	x	x
82,5	95,0	90,8	70,8



t = 14,4 °C φ = 68,3 % Samolep. PK			
97,5	87,8	x	72,5
92,5	84,5	75,3	x
65,3	86,0	84,3	63,8
x	65,5	90,5	76,25



Vzorky PG řady B, C jsou vyřazeny pro vzájemné nekvalitní neprovaření hydroizolací. Pochybení způsobilo směřování plamene převážně na podklad, čímž se plamen



nedostal na roli v dostatečné míře. Ze způsobů zejména adhezních porušení (viz Schéma 4) je zřejmá rovnoměrná přídržnost samolepicích pásů, pouze u nejlépe prohrátých míst byla přídržnost natolik dobrá, že došlo ke kohezi EPS.

**Tabulka 6: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů PG, PK (s jemnozrnným posypem)**

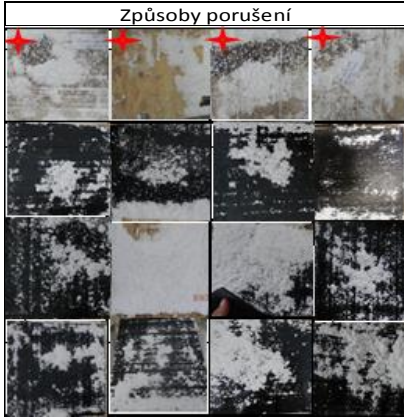
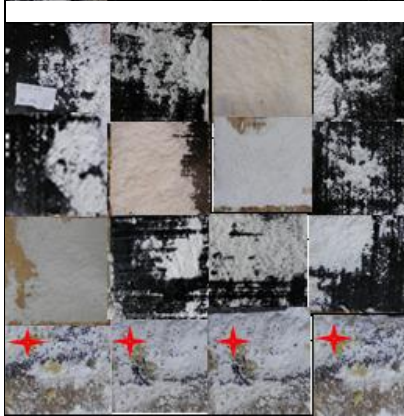
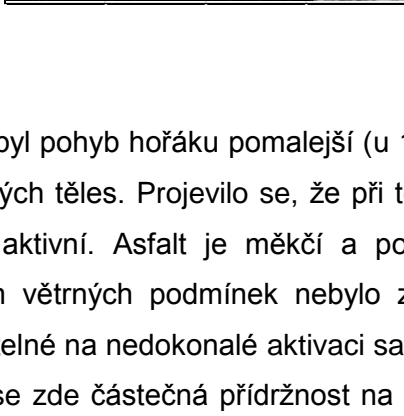
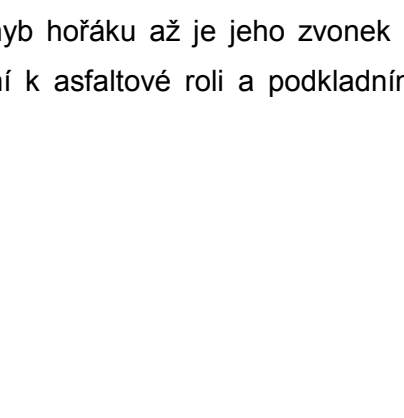

14,4 °C; 68,3 %	Přídržnost [kPa]			
25% Kvantil	PG	81,9	PK	72,5
Průměr		92,9		84,3
75% Kvantil		100,3		87,8

Jak je zřejmé z výsledků (viz Tabulka 6) lze při teplotě 14,4 °C dosáhnout přídržností samolepicích pásů, které převyšují soudržnost EPS v tahu, aniž by docházelo k častému přetavování. Při okolní teplotě vzduchu 14,4 °C lze provádět pokládku samolepicích pásů v hydroizolačním souvrství, kde dochází k prohrátí samolepky, a to bez negativního vlivu okolní teploty na výslednou přídržnost. Avšak i při této uvedené teplotě vzduchu je okamžitá lepicí schopnost samolepicích asfaltových pásů stále velmi nízká. Výsledné přídržnosti samolepicích pásů při  $t = 14,4 \text{ °C}$  zjištěné statickým odtrhem, jsou vyšší o 10,8 % pro kategorii P.

#### 8.1.6 Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za střední teploty

Zde se natavovalo při teplotě  $t = 22 \text{ °C}$  a relativní vlhkosti  $\varphi = 73,5 \text{ %}$ . Teplota vzduchu v rozmezí 20–25 °C je pro natavování asfaltových pásů využívaná velmi často. Tato střední teplota vzduchu zajistí lepicí schopnost vrstvy samolepicího pásu a hydroizolace je obecně dobře zpracovatelná v porovnání s velmi nízkou anebo vysokou teplotou vzduchu. Pozornost zde byla věnována samolepicím hydroizolacím s posypem horního povrchu PG a PK jejichž natavení je technologicky náročnější. Zhotovilo se dvojnásobné množství vzorků. Aplikaci horního asfaltového pásu přerušil náhlý déšť. Na obou následujících modelech PK, PG zůstala po aplikaci samolepicího pásu volně položený horní pás s dekorem a modely zmokly. Natavovalo se až po odstranění vody z povrchu horního pásu při větrném počasí.

**Schéma 5: Maximální dosažené přídržnosti pásu PK a způsoby jejich porušení**

t = 22 °C φ = 73,5 % Samolep. PK				Způsoby porušení			
31,3	26,8	38,3	36,8				
48,0	59,0	40,0	29,5				
38,8	64,5	72,0	43,8				
65,0	89,0	75,6	84,6				
54,3	89,8	92,5	84,0				
50,0	101,0	95,0	66,3				
74,8	62,5	72,5	54,0				
34,8	49,3	53,8	50,8				

Při konci natavovaného asfaltového pásu, kde byl pohyb hořáku pomalejší (u 1. a také 8. řady (viz Schéma 5) nastalo spálení koncových těles. Projevilo se, že při teplotách okolo 20 °C je již samolepicí vrstva dobře aktivní. Asfalt je měkčí a povrch na podkladním pásu se rychleji natavuje. Vlivem větrných podmínek nebylo zajištěno optimální prohřátí podkladního pásu, což je zřetelné na nedokonalé aktivaci samolepicí vrstvy a častém adhezním porušení. Objevila se zde částečná přídržnost na tělesech po obvodu – je proto také důležité končit pohyb hořáku až je jeho zvonek u okraje pásu. A to přestože má plamen při směřování k asfaltové roli a podkladnímu pásu rozptýl po obou stranách.

**Schéma 6: Maximální dosažené přídržnosti u pásu PG a způsoby jejich porušení**

t = 22 °C φ = 73,5 % Samolep. PG			
85,0	86,5	82,0	69,8
56,3	51,0	70,0	67,3
74,0	82,8	62,5	55,0
67,0	76,3	50,9	55,8
62,5	60,0	110,0	72,5
42,0	80,0	74,0	74,5
78,0	86,3	55,0	84,0
39,9	49,5	53,0	46,5

Způsoby porušení			

Při zvýšeném větru docházelo i zde k odnášení plamene a jeho ochlazování. Tyto nepříznivé podmínky narušily proces natavení asfaltových pásů. Po natavení byly zřejmé lokální oblasti s nadměrně změkklým hydroizolačním souvrstvím. Po statickém odtrhu se potvrdilo, že při natavování docházelo k přetavování samolepicí vrstvy. I přes částečně přetavené oblasti (viz schéma 6) je výsledná přídržnost pásu PG vyšší než u předcházející soustavy vzorků (viz schéma 5), kde došlo k opatrnějšímu natavování. Zvýšená rychlost větru narušuje optimální podmínky pro natavování hydroizolačních pásů.

**Tabulka 7: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů PG, PK (s jemnozrnným posypem)**

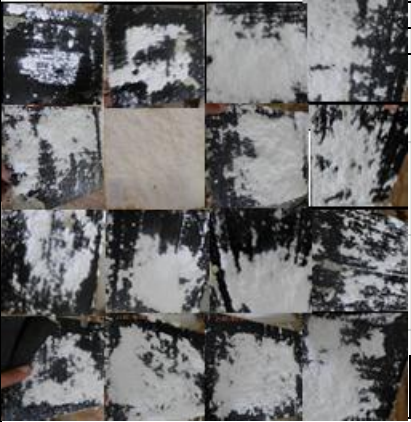

22 °C; 73,5 %	Přídržnost [kPa]			
25% Kvantil	PG	69,3	PK	51,6
Průměr		75,4		63,8
75% Kvantil		83,1		75,5










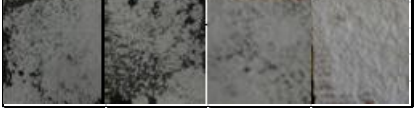
### 8.1.7 Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za středně vysoké teploty

Samolepicí pás s jemnozrnným minerálním posypem byl aplikován při okolní teplotě 24 °C a relativní vlhkosti 47 %. Pozornost zde byla věnována samolepicím hydroizolacím s posypem horního povrchu PG a PK jejichž natavení je technologicky náročnější. Jedná se podobně jako v předchozím případě o teplotu, při které se asfaltové pásy natavují na plochých střechách velmi často. Pro důkladné prověření přídržnosti a zpracovatelnosti pásů s posypem se zhotovilo opět dvojnásobné množství vzorků.

**Schéma 7: Maximální dosažené přídržnosti u pásu PK a způsoby jejich porušení**

t = 24 °C φ = 47 % Samolep. PK				Způsoby porušení			
24,5	33,8	110,0	54,5				
86,3	113,5	103,3	62,5				
51,8	90,0	67,5	80,5				
48,8	87,5	65,8	59,3				
75,0	70,0	62,5	65,0				
64,5	66,8	101,3	74,3				
82,0	101,0	51,3	77,8				
72,0	76,5	89,5	57,8				

**Schéma 8: Maximální dosažené přídržnosti u pásu PG a způsoby jejich porušení**

t = 24 °C φ = 47 % Samolep. PG				Způsoby porušení			
96,5	94,3	76,3	75,0				
99,3	62,5	82,3	78,8				
x	x	74,5	93,5				
x	x	x	x				
91,3	102,5	102,8	103,3				
89,5	98,8	97,0	94,8				
80,0	82,5	110,8	77,3				
62,5	67,5	72,5	97,0				

U tohoto pásu PG (Schéma 8) aplikovaného při teplotě 24 °C se podařilo zajistit vysokou rovnoměrnost prohřátí samolepicího pásu. V průběhu natavování vznikal před rolí plošný návalek asfaltu, pásy byly proto velmi dobře natavené avšak nepřetavené. U přídržností nad 90 kPa je zřejmé kohezní porušení vzorků v izolantu EPS a dosažené napětí proto vypovídá o vyčerpání pevnosti EPS v tahu. Samolepicí vrstva přitom nebyla porušena, můžeme proto říci, že zajištěním správného okamžiku aktivace je spoj samolepky únosnější než soudržnost samotného izolantu EPS 100S. Zpracované výsledky dosažených přídržností zobrazuje Tabulka 8.

**Tabulka 8: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů PG, PK (s jemnozrnným posypem)**



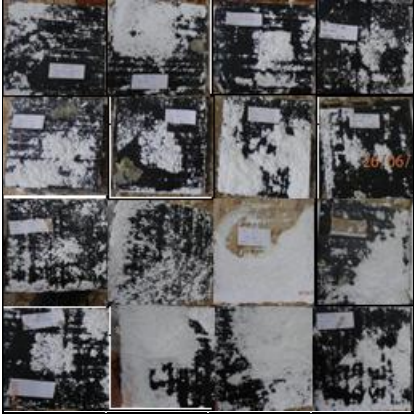



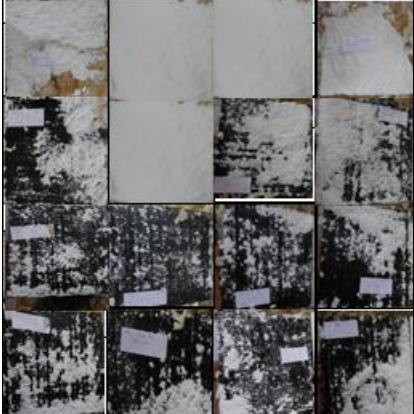
24 °C; 47 %	Přídržnost [kPa]			
25% Kvantil	PG	78,4	PK	64,5
Průměr		92,4		74,3
75% Kvantil		97,4		87,5

### 8.1.8 Vyhodnocení přídržnosti pásů aplikovaných za vysoké teploty

Samolepicí pásy vystavené slunečnímu záření za teplého letního dne při okolní teplotě vzduchu 28,7 °C a relativní vlhkosti 33,9 % měly výbornou lepicí schopnost. Asfaltová

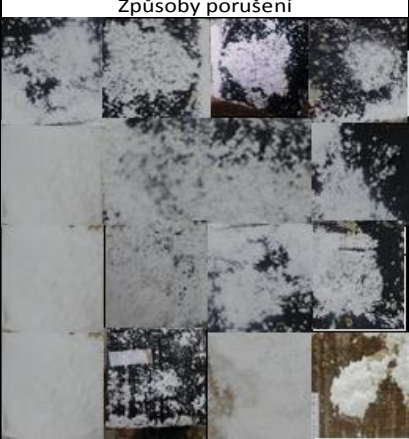
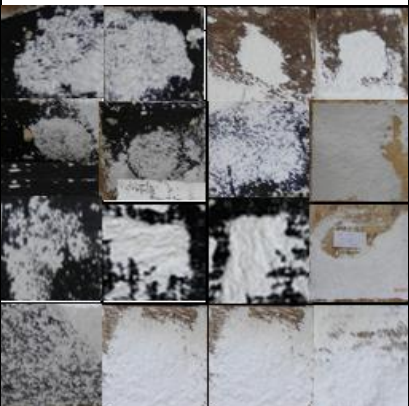
hmota byla při této teplotě vzduchu již velmi změkklá. Zvolila se proto varianta pásů bez jemnozrnného posypu, jejichž povrch postačí natavovat méně, aby došlo k provaření obou hydroizolací. I přesto se asphalt na povrchu pásu natavoval velmi rychle. Pásky s minerálním posypem je nutné prohřívát více, čímž se povrchová vrstva asfaltu na pásu ještě více roztavuje, a proto nebyly při těchto vysokých teplotách testovány.

**Schéma 9: Maximální dosažené přídržnosti u pásů UG a způsoby jejich porušení**

t = 28,7 °C φ = 33,9 % Samolep. UG				Způsoby porušení			
58,5 	87,0	57,0 	32,5				
45,3 	30,8 	68,5 	34,8				
70,5	90,0	67,5	65,0				
51,3	75,8	87,5	72,0				
78,0	105,0	104,5	109,5				
68,8	116,0	116,5	90,0				
76,3	62,8	76,3	76,3				
51,5	47,5	62,8	62,5				

Povrch asfaltových pásů rozežhátých na slunci se při natavování poměrně rychle roztavuje, rozvíjení role je tudíž rychlejší a prohřátí samolepky nedostatečné. Při natavování se ukázalo, že teplota blízká 30 °C je již dosti vysoká a nezajišťuje podmínky, které odpovídají možnostem kvalitního zpracování. Pohybem po rozežhátém asfaltovém pásu dochází mimo jiné také k narušování ochranného břídlcového posypu, čímž snižujeme životnost krytiny. Teplota při 30 °C je také dosti vysoká pro samotné izolátory pohybující se na černém rozpáleném povrchu střechy, který může dosahovat teplot až 90 °C

**Schéma 10: Maximální dosažené napětí u vzorků UK a způsoby jejich porušení**

t = 28,7 °C φ = 33,9 % Samolep. UK				Způsoby porušení			
85,0	74,5	67,0	50,0				
84,0	81,0	82,8	57,5				
89,3	77,5	60,3	90,0				
87,5	70,3	88,8	65,0				
93,0	90,3	58,0	61,5				
62,0	67,0	92,8	88,8				
62,5	81,5	71,3	73,0				
77,0	73,8	72,3	87,5				

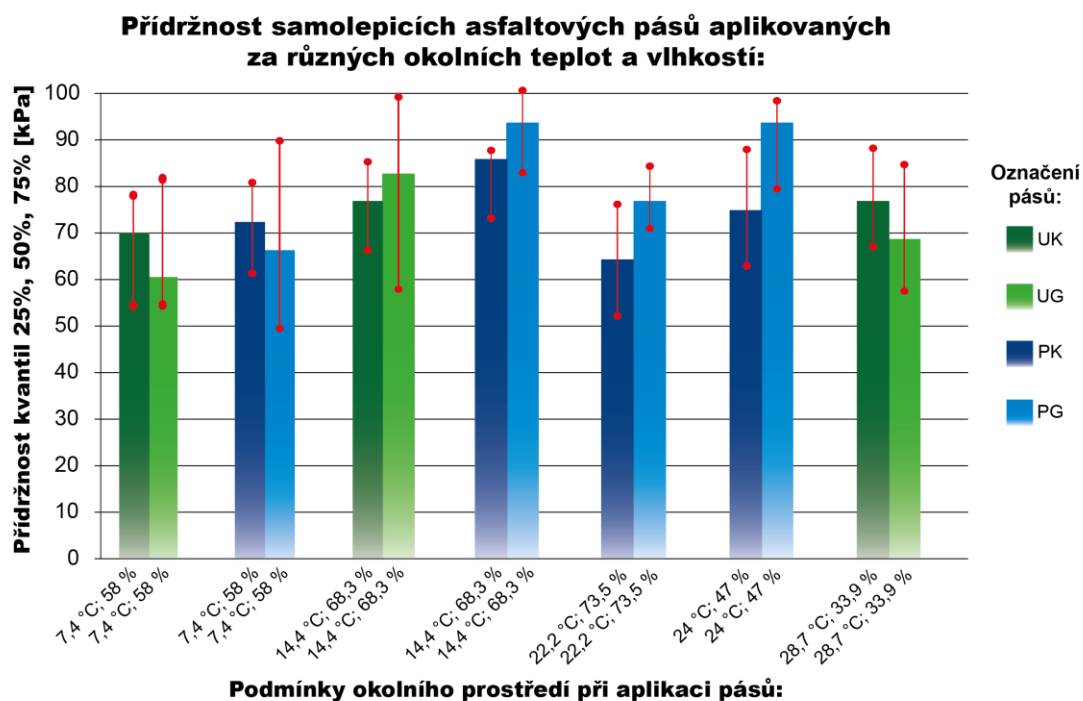
Z adhezních způsobů porušení (viz Schéma 9 a Schéma 10) je v řadě případů patrná neplnoplošná přídržnost samolepky přestože je okolní teplota dosti vysoká. Povrch rozehrátých asfaltových pásů s povrchem ze spalitelné fólie se natavuje velmi snadno. Natavení pásů a jejich vzájemné provaření bezpečně nezaručuje kvalitní přídržnost samolepicího pásu s podkladem, pokud není spodní lepicí povrch vlivem rychlého posunu dostatečně prohřátý.

**Tabulka 9: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů UG, UK (bez jemnozrného posypu)**

28,7 °C; 33,9 %	Přídržnost [kPa]			
25% Kvantil	UG	57,4	UK	66,5
Průměr		68,6		75,8
75% Kvantil		84,8		87,5

### 8.1.9 Konečné zhodnocení přídržnosti samolepicích pásů při aplikaci za různých okolních podmínek

Okamžitá přídržnost samolepicích asfaltových pásů po sejmutí separační fólie a jejich rozvinutí na přichystaný podklad významně závisí na teplotě okolního prostředí. Nízké teploty vzduchu 7,4 °C a 14,4 °C výrazně snižují lepicí schopnost těchto výrobků. Při 22,2 °C byla samolepka již dobře aktivní. S rostoucí teplotou a současným měknutím asfaltu se lepicí schopnost samolepicího asfaltového pásu zlepšovala. Průběžně nejvyšších přídržností bylo dosaženo u pásů s minerálním posypem PG.



**Obr. 37: Výsledné hodnoty přídržnosti samolepicích pásů aplikovaných za různých teplot a vlhkostí**

Výsledná přídržnost samolepicích pásů k podkladu po natavení horního asfaltového pásu je ovlivněna teplotou vzduchu okolního prostředí při natavování, rychlostí větru, ale zásadní vliv zde stále tvoří lidský faktor pracovníka. Lze však říci, že zkušební teploty 14–24 °C zajišťují dobré podmínky pro aplikaci samolepicích pásů. Velmi nízké teploty (v tomto případě 7,4 °C) zhoršují zpracovatelnost asfaltového pásu a vyžadují intenzivnější plamen, což vede až k přetavení pásů (PK, PG 7,4 °C). Tyto pásy s posypem jsou obecně natavovány více (aby vznikl kvalitní spoj s horním pásem) a přídržnost je lepší zejména u středních teplot vzduchu. Hrozí ovšem spálení pásu i podkladu, čímž se přídržnost sníží (viz 25% kvantil PG 7,4 °C Obr. 37). Při teplotě 14,4 °C bylo dosaženo výborných přídržností intenzivním natavováním pásů, aniž by nastalo jejich přepálení. Při střední teplotě od 20 do 25 °C je pokládka samolepicích

pásů nejčastější a očekává se, že tato teplota zajišťuje optimální podmínky. Proto se zde (při teplotě 22,2 °C a 24 °C) testoval dvojnásobný počet vzorků a pozornost se zaměřila na samolepicí pásy s jemnozrnným posypem, jejichž natavení je technologicky náročnější. Větrné podmínky při 22,2 °C odkláněly plamen – pásy PG byly proto přetavené a pásy PK naopak lokálně nedostatečně aktivované. Přídržnosti jsou proto při 22,2 °C nižší. Ukázalo se proto, že i při optimální okolní teplotě vzduchu vítr a lidský faktor zhoršuje kvalitu zpracování a tím i výslednou přídržnost pásů k podkladu. Velmi dobré přídržnosti přinesla aplikace pásů PG při teplotě 14,4 °C a 24 °C, kde průměrná přídržnost dosáhla hodnot 92,9 kPa a 92,4 kPa u pásů PG. Okolní teplota 28,7 °C je pro aplikaci asfaltových pásů již vysoká. Povrch rozehrátých pásů se velmi rychle natavuje, avšak nenastává kvalitní prohřátí samolepky.

## **9 Cyklické zmrazování a ohřívání těles**

Cílem této zkoušky je experimentálně ověřit zde navržené metody ohřívání a mražení vzorků, které pomohou objasnit vliv působení vysoké teploty a mrazu na přídržnost samolepicích asfaltových pásů s podkladu z EPS.

### **9.1 Experimentální stanovení přídržnosti po zmrazovacím cyklování**

Prostředí pro uložení těles, bylo nastaveno na cyklování mezi teplotou  $t = +5^{\circ}\text{C}$  a vlhkostí  $\phi = 60\%$  na teplotu  $t = -20^{\circ}\text{C}$  a vlhkost  $\phi = 80\%$ . Při nastavení teplotních cyklů se vycházelo z přirozených teplotně vlhkostních vlivů venkovního prostředí, které nastávají v zimě. Posuzoval se vliv na přídržnost samolepicích asfaltových pásů. Záměrně se pro tuto zkoušku zvolila tělesa poblíž referenčních těles, kde došlo k poruše v EPS, ale i vzorky, u nichž nastalo porušení u kontaktu EPS s pásem. Ochlazování zkušebních těles se uskutečnilo v klimatizačním zařízení na pracovišti Centra AdMaS (Advanced Materials, Structures and Technologies), FAST VUT

#### **9.1.1 Úprava zkušebních těles**

V klimatizačním zařízení lze uložit celkem 6 zkušebních těles. Při působení teploty na skladbu byly vzorky ponechány pro lepší vyrovnaní teploty asfaltového souvrství s okolím bez horní odtrhové desky s trnem.

#### **9.1.2 Potřebné vybavení**

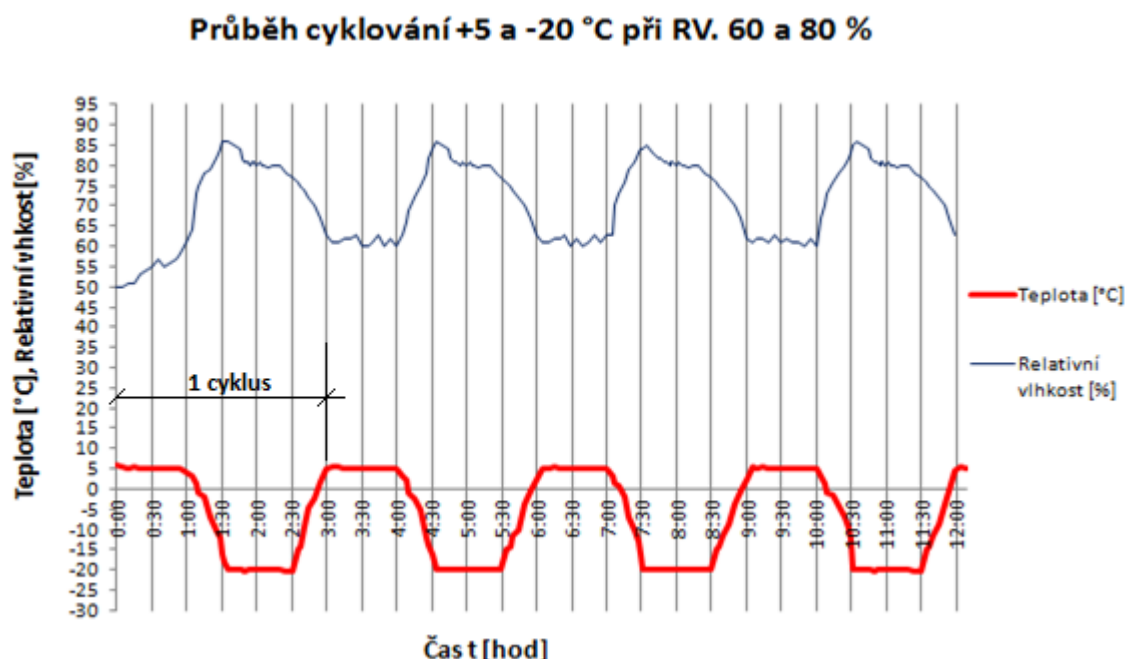
- Zařízení s vnitřní regulací teploty (do  $-20^{\circ}\text{C}$ ), vlhkosti s automatickým cyklováním.



- Výtahoměrné zařízení s ukazatelem maximální dosažené síly k provedení statické destruktivní zkoušky.

### 9.1.3 Postup provedení zkoušky

Vzorky se umístily ve vodorovné poloze na vnitřní rošty přednastavené klimakomory, tak aby nedošlo k vzájemnému ovlivnění hydroizolačního souvrství v průběhu cyklování. Software byl i v tomto případě naprogramován tak, aby proběhlo celých 24 cyklů po 3 hodinách. Jeden cyklus tvořila 60 minutová výdrž na maximum i minimum se dvěma 30 minutovými přechody, což znázorňuje Obr. 38.



**Obr. 38: Ukázka průběhu teploty a vlhkosti u zmrazovacích cyklů**

Vytemperované vzorky na laboratorní podmínky se opatřily horní OSB deskou. Po vytvrzení lepidla a přišroubování ocelové plotny s trnem se uskutečnila statická destruktivní zkouška v laboratorním prostředí při teplotě  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti  $55 \pm 5$  %.

### 9.1.4 Výsledky měření

Následující schéma 11 zobrazuje maximální hodnoty soudržnosti, při kterých došlo k porušení vzorků při vykonání statické zkoušky. Z pohledu na přiřazené fotografie je zřejmé, že byla početně zaznamenána porušení v oblasti pěnového polystyrenu. Održení ve vrstvě polystyrenu se zaznamenalo i při nižších napětích než je pevnost

EPS v tahu. V některých případech nastalo odtržení v místě, kde se lepidlo lokálně nespojilo s EPS (viz UK 6, 7, 8, 18 a UG 7, 23). V jiných případech se lepidlo rozšířilo až do vnitřní struktury tepelného izolantu, kde nabylo na objemu a došlo tak k lokálnímu snížení pevnosti EPS, proto při odtrhu nastala porucha poblíž postižené oblasti. Zpětně se sledovala i objemová hmotnost EPS, která by mohla souviset se snížením pevnosti v tahu, avšak nebyly zde patrné významné rozdíly. U velkého modelu nastaly pravděpodobně komplikace způsobené celoplošným lepení EPS s nedostatečným zatížením tak rozsáhlé skladby. Lepidlo zavadlo a tvrdlo nejprve po okrajích vzorku, kde vytvořilo pevný spoj. S opožděním pak napěňovalo v centrální části, zde nabývalo na objemu, tlačilo na EPS a dostávalo se do vnitřní struktury. Za lokální nepřilnutí lepidla po okraji vzorku zodpovídá méně lepidla než je tomu ve zbytku plochy. V kombinaci s nedostatečnou plošnou zátěží se EPS plně nezatlačilo do lepidla, čímž se projevila lokální nesoudržnost spoje.

**Schéma 11: Výsledné hodnoty přídržnosti [kPa] a způsoby porušení zkušebních těles UG, UG po působení zmrazovacích cyklů a srovnání s referenčními vzorky**

Řádek	UK ref.	UK chlad	Max. soudržnost		UK ref.	UK chlad
1	111,8	97,0				
6	79,8	84,3				
7	86,5	77,3				
8	74,8	79,3				
18	79,5	78,8				
21	87,8	82,0				

Řádek	UG ref.	UG chlad	Max. soudržnost		UG ref.	UG chlad
5	69,5	88,0				
6	63,8	58,3				
7	82,5	95,8				
9	85,0	99,3				
18	57,25	50,0				
23	78,0	72,8				

Pro měření byly záměrně vybrány i referenční vzorky s nedokonalé aktivovanou samolepkou, kde nastalo částečně adhezní porušení u asfaltového pásu. Podobná aktivace, a tedy i způsob poruchy, se předpokládá u sousedního vzorku cyklovaného,



což nastalo podle předpokladu.

Porovnáním dvojic referenčních a sousedních vzorků (po zmrazovacích cyklech) s částečně adhezním porušením umožnilo nahlédnout, zda došlo ke změnám v přídržnosti. Výsledky, ať už jde o adhezní porušení UG (6,18) a UK (21) případně o kohezní porušení, jsou z hlediska soudržnosti pro dílčí dvojice vzorků vzájemně srovnatelné. Adhezní způsoby porušení odpovídají dosažené přídržnosti vzhledem k procentu neaktivní plochy samolepicího asfaltového pásu (s černou barvou).

Mírně snížené přídržnosti u cyklovaných těles zde souvisí s menší aktivní plochou spoje v důsledku nedostatečného prohřátí samolepicího pásu. Při vizuálním posouzení nebyl zaznamenán vliv mrazu na adhezi samolepicích asfaltových pásů. Vzorky UK 1 a UG (7, 9) (viz Schéma 11) dosáhly ve dvojici vynikajících soudržností, porušily se kohezně v EPS, aniž by došlo k vyčerpání spoje samolepicího pásu.

#### **9.1.5 Dílčí závěr**

Vzorky vystavené účinkům zmrazovacích cyklů se výslednou přídržností neliší od referenčních vzorků. Nebyly zaznamenány změny v samolepicí vrstvě, které by způsobily zhoršení přídržnosti pásů k podkladu. Ze zjištěných poznatků lze říci, že 24 mrazících cyklů neovlivnilo přídržnost samolepicích hydroizolačních pásů s podkladem z EPS.

### **9.2 Experimentální stanovení přídržnosti po ohřívacím cyklování**

Teplotní prohřívání vzorků se uskutečnilo v klimakomoře. Zde se cyklovalo mezi prostředím s teplotou  $t = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vlhkostí  $\phi = 50\%$  na teplotu  $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vlhkost  $\phi = 80\%$ , tedy v podmínkách simulujících ranní hodiny, kdy vychází slunce a odpolední hodiny, kdy dochází k zahřívání skladby. K cyklování se vybralo 6 ks těles od druhu UG a 6 ks UK. Posuzoval se vliv zlepšení nebo případného zhoršení adhezních vlastností samolepicího pásu k EPS, vybrala se proto tělesa poblíž referenčních vzorků, kde došlo ke kohezní poruše v EPS a také tělesa poblíž referenčního vzorku, kde došlo k adheznímu porušení u pásu. Ohřívání zkušebních těles se také uskutečnilo v klimatizačním zařízení na pracovišti Centra AdMaS, FAST VUT.

#### **9.2.1 Úprava zkušebních těles**

Úprava zkoušených těles je totožná s bodem 9.1.1.

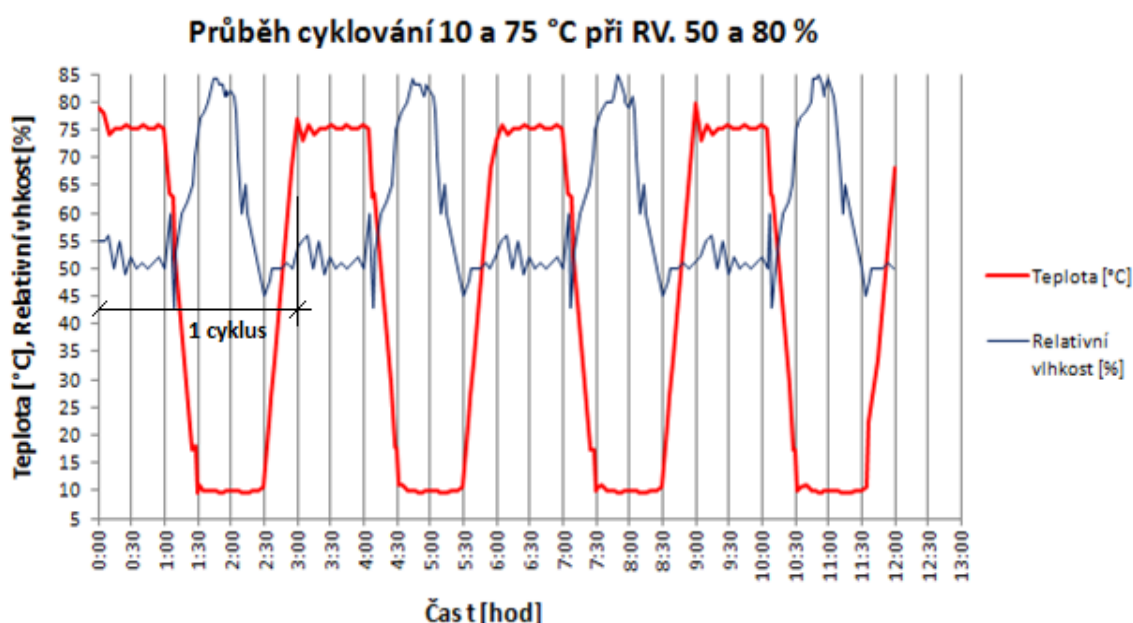
#### **9.2.2 Potřebné vybavení**

- Zařízení s vnitřní regulací teploty, vlhkosti a automatickým cyklováním.

- Výtahoměr s ukazatelem maximální dosažené síly k provedení statické destruktivní zkoušky.

### 9.2.3 Postup provedení zkoušky

Provedený postup je v analogii s bodem 9.1.3 Výstupní záznam z průběhu cyklování vystihuje Obr. 39. Vytemperované vzorky na laboratorní podmínky se opatřily OSB deskou. Po vytvrzení lepidla a přišroubování ocelové plotny s trnem se uskutečnila statická destruktivní zkouška v interiéru při teplotě  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti  $55 \pm 5$  %.







Obr. 39: Ukázka průběhu teploty a vlhkosti u chladících cyklů

### 9.2.4 Výsledky měření

Výsledky měření zobrazuje následující schéma 12 vystihující maximální dosažené napětí a způsoby porušení referenčních a k nim přidružených vzorků cyklicky zatěžovaných teplem. Na fotografiích vidíme podobně jako u měření v předchozím případě poruchy v EPS a také u lepidla. Lokální nespojení lepidla s tepelným izolantem EPS v okrajích UK (2, 5); UG 4, protlačení lepidla do vnitřní struktury UG 24, UK 4 nebo puchýře UG (3, 8). Puchýře jsou patrné v centrální oblasti plochy vzorku. Jedná se o nashromážděné lepidlo nejpozději vytvrzené, které se nemělo kam rozpínat. Nejprve lepidlo vytvrdlo po okraji – v nejvýhodnějším kontaktu s vlhkostí a následně expandovalo do středu vzorku, kde je přístup k vlhkosti ztížený. Lepidlo tak postupně nabývalo na objemu a vytvořilo puchýř s uvnitř ještě čerstvým lepidlem, který lokálně snížil pevnost EPS.

**Schéma 12: Výsledné přídržnosti a způsoby porušení zkušebních těles UG, UG po působení ohřívacích cyklů a srovnání s referenčními vzorky**

Řádek	UK ref.	UK teplo	Způsob porušení		Řádek	UG ref.	UG teplo	Způsob porušení	
	Max. napětí [kPa]		UK ref.	UK TEPLO		Max. napětí [kPa]		UG ref.	UG TEPLO
2	75,0	87,5			3	80,8	76,8		
4	91,8	89,0			4	91,8	92,5		
5	87,5	80,5			8	91,5	71,3		
16	72,0	84,5			13	52,0	78,5		
22	81,5	79			19	66,5	89,8		
23	75,5	82,3			24	67,3	74,0		

Část vzorků byla poškozena při mezi únosnosti pěnového polystyrenu v tahu, aniž by se vyčerpala adheze samolepicího asfaltového pásu. V tomto případě se jedná o vzorky UG4 a UK 4. Přídržnost dosahovala u referenčního vzorku UK4 = 91,8 kPa a na sousedním tělese po tepelném cyklování 89 kPa. U referenčního vzorku UG činila přídržnost hodnotu 91,8 kPa a sousední těleso po teplotním cyklování 92,5 kPa. Na velmi dobře aktivovaných samolepicích pásech není zřejmý pokles přídržností vlivem ohřívání. Na vzorcích porušených v EPS proto nelze vizuálně sledovat vliv tepla na adhezní vlastnosti samolepky. U vzorků UK (2, 5) a UG 3 můžeme říci, že nebyla u ohřívání těles snížena adheze, a nedošlo k poškození u asfaltového pásu, soudržnost naopak zůstala zachována. Vhodnějším ukazatelem pro posouzení přídržnosti samolepky s podkladem vlivem teploty se jeví vzorky referenční s porušením u samolepicího asfaltového pásu. Předpokládá se, že výsledek přídržnosti vedle referenčního tělesa bude velmi podobný, neboť se jedná o dvě střední řady vzorků z natavovaného asfaltového pásu. Vzorky po cyklickém působení teploty UK 23 a UG (13, 19, 24) vykazují vyšší přídržnosti než je tomu u referenčních vzorků, jejichž lepicí vrstva nebyla plně aktivovaná při aplikaci hydroizolace.

### **9.2.5 Dílčí závěr**

Při působení 24 teplotních cyklů se u velmi dobře aktivovaných samolepicích pásů neprojevil negativní vliv na změnu přídržnosti samolepicích asfaltových pásů s EPS. Z výsledků přídržností však plyne možný předpoklad, že právě působení zvýšené teploty může pomoci v aktivaci té části samolepky, která nebyla plně prohřátá a přilnutá k podkladu při natavování. Avšak k naplnění tohoto předpokladu by bylo vhodné vytvořit rozsáhlejší výzkum s delším intervalem působení tepla na skladbu.

## **10 Dynamická zkouška**

Cílem dynamické zkoušky je sledovat vliv tohoto druhu zatížení na přídržnost samolepicích pásů k podkladu, jemuž musí v běžných podmínkách tyto výrobky odolávat při zatížení větrem.

### **10.1 Experimentální stanovení přídržnosti nestacionární metodou**

Dynamická zkouška přídržnosti byla provedena na pracovišti Centra AdMaS, FAST VUT, které disponuje potřebným vybavením k provedení tohoto druhu zatížení.

#### **10.1.1 Úprava zkušebních těles**

Proříznutím základní OSB desky (z plošného modelu viz Obr. 33) se osamostatnily dílčí vzorky pro zkoušení dynamiky. Po přilepení horní OSB desky, vytvrzení lepidla a přišroubování ocelové desky s trnem, byla tělesa připravena k provedení zkoušky.

#### **10.1.2 Potřebné vybavení**

- Laboratorní lis schopný vyvolat intenzivní kmitání hlavice, které předepisuje ETAG 006 a automaticky naprogramovaný software
- Měřidlo pro stanovení teploty a vlhkosti okolního prostředí

#### **10.1.3 Postup provedení zkoušky**

Přesný průběh dynamického zatížení je převzat z předpisu ETAG 006. Dodržen byl průběh jednotlivých zatížení, počty zatěžovacích cyklů, jejich opakování i postupné narůstání maximální síly jak je definováno v uvedeném předpisu. Odlišným ovšem bylo zkušební zařízení, kdy na místo podtlakové komory působila síla s pomocí dynamického kmitání hydraulického lisu (viz Obr. 40), který byl synchronizován se softwarem v počítači. Přišroubované zkušební těleso umístěné mezi rámem lisu a hlavici pístu znázorňuje Obr. 41. Dynamická zkouška se uskutečnila při okolní teplotě 21 °C a relativní vlhkosti 57 %.



Obr. 40: Zkušební zařízení pro dynamickou zkoušku



Obr. 41: Fixování zkušební tělesa mezi hlavu lisu a stacionární rám

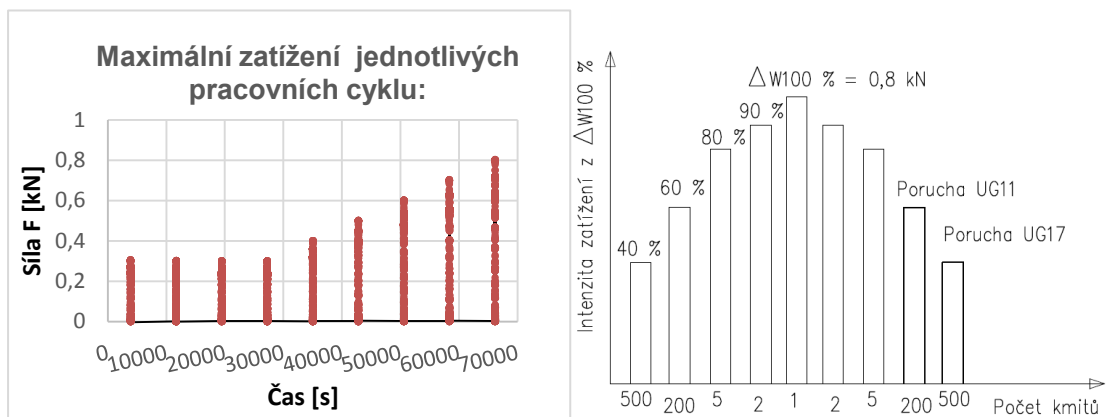
#### 10.1.4 Vyhodnocení výsledků

Dynamické zkoušky byla vystavena dvě zkušební tělesa. Jednalo se opět o výběr dvojice vzorků z velkoplošného modelu. Statickou zkouškou provedenou při teplotě 22 °C a RV= 54 % byly zjištěny přídržnosti referenční vzorků. Zkoušeným pásem byl druh bez minerálního posypu UG, kdy se aplikovalo hydroizolační souvrství při okolní teplotě 23 °C a RV= 49 %.

**Schéma 13: Výsledné přídržnosti a způsoby porušení zkušebních těles UG, po dynamické zkoušce a srovnání s referenčními tělesy**

Řádek	UG ref.	UG dyn.	UG ref.	UG dyn.
	Soudržnost [kPa]		Způsob porušení	
11	94	20		
17	96	20		

Jak je patrné ze Schéma 13, samolepicí pásy na obou referenčních zkušebních tělesech dosahovaly výborné soudržnosti a tato tělesa byla porušena kohezně v EPS. Zkušební vzorky, jenž absolvovaly dynamickou zkoušku (a jsou v dvojici k těmto referenčním vzorkům) ovšem neměly natolik tepelně zaktivovanou lepicí vrstvu. Spoj tohoto samolepicího asfaltového pásu k podkladu byl v případě vzorku UG17 soudržný pouze částečně, a to z 50 %. Kohezní porušení vzorku UG11 v EPS tvořilo z celkové plochy vzorku 75 %.

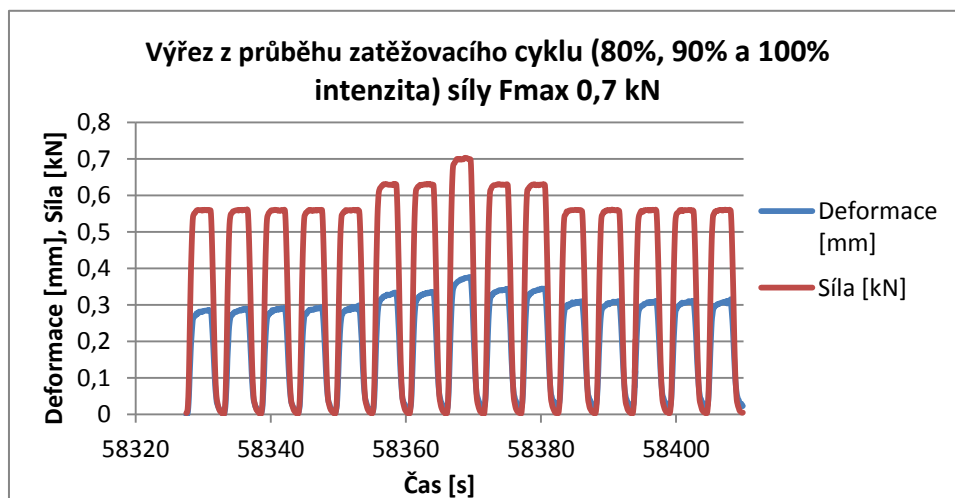


Obr. 42: Maximální zatížení 9 pracovních cyklů

Schéma 14: Zatěžovací schéma cyklu

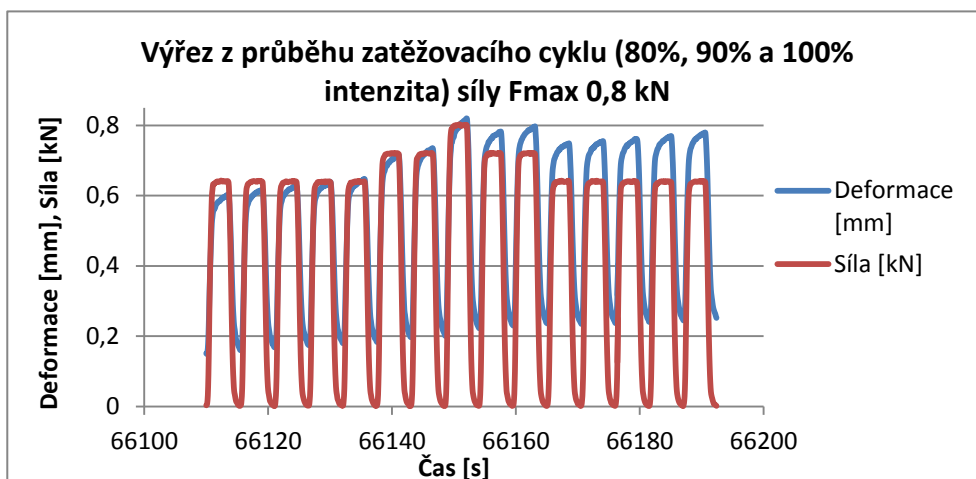
Oba zkoušené vzorky přenesly v posledním zvládnutém cyklu maximální sílu  $F_{max}$  (800 N) pro jedno opakování. K definitivnímu porušení vzorku UG 11 došlo u sestupné části zatěžovacího schématu v 67. opakování z 200 při 60% zatížení z  $F_{max}$  (viz Schéma 14). Deformace se u předposledního cyklu souměrně vyvíjela s intenzitou zatížení, jak vidíme z následujícího

Obr. 43, kde je uveden průběh zatížení z vrcholné části cyklu.



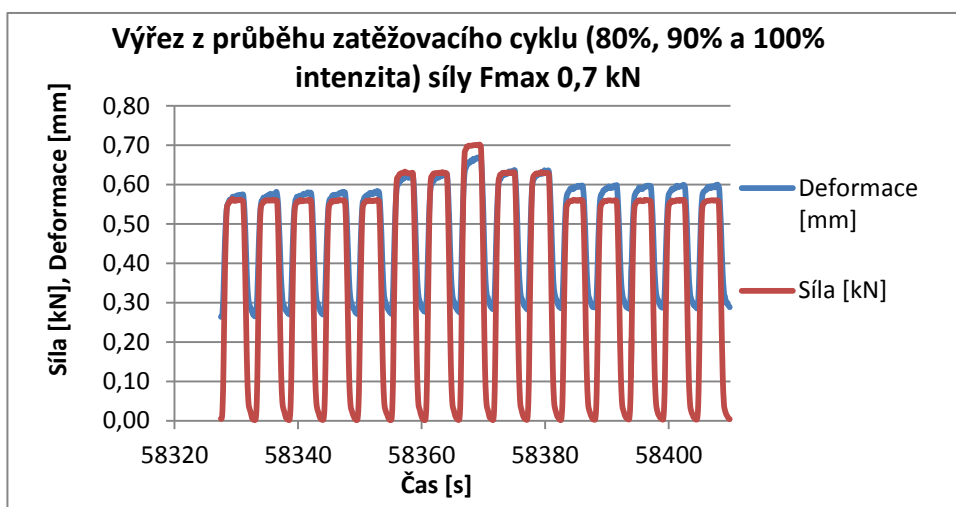
Obr. 43: Průběh zatížení a deformace v předposledním (osmém) zatěžovacím cyklu u vzorku (UG11)

V druhé polovině posledního zatěžovacího cyklu (viz Obr. 44) po dosažení maximální síly 0,8 kN a přechodu na intenzitu nižší 90 a 80 % je nárůst deformace dobře zřetelný, což vedlo dále u 60% intenzity ke konečnému porušení zkušební vzorku.



**Obr. 44: Průběh zatížení a deformace v posledním (devátém) zatěžovacím cyklu u vzorku (UG11)**

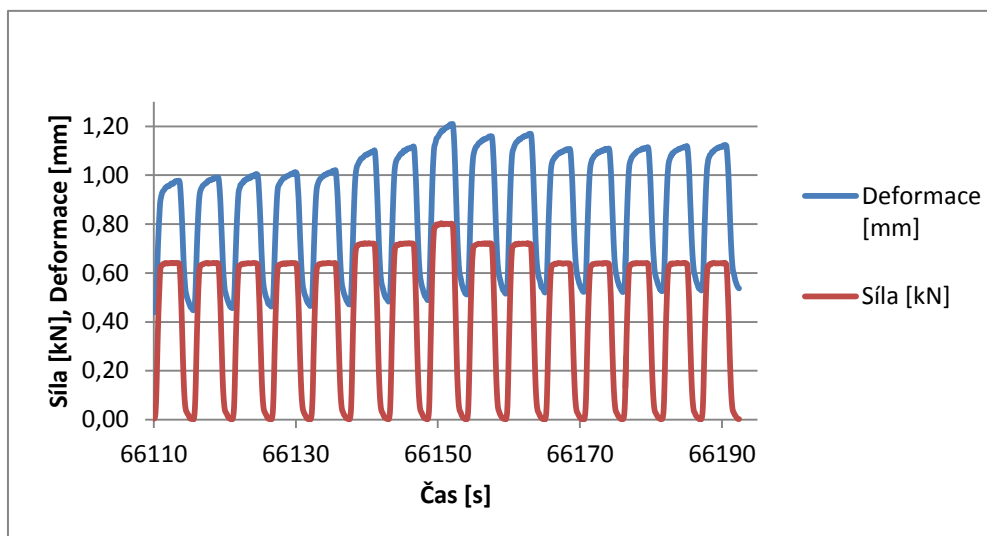
Soudržnost u vzorku UG 17 byla vyčerpána taktéž v druhé polovině zatěžovacího cyklu při sestupu z maximálního zatížení. K porušení došlo u tohoto vzorku později, a to při 47. opakování z 500 na úrovni 40% z  $F_{max}$  800 N (což je 320 N viz Schéma 14). Na diagramu osmého zatěžovacího cyklu z devíti (viz Obr. 45) vidíme, že jsou deformace při totožné síle dvojnásobné v porovnání s vzorkem UG11 (viz Obr. 44). Výrazněji se zde projevovala lokální nesoudržnost spoje samolepicího pásu s EPS.



**Obr. 45: Průběh zatížení a deformace v předposledním (osmém) zatěžovacím cyklu u vzorku (UG17)**

Přestože byly zaznamenány u vzorku UG17 průběžně vyšší deformace než u vzorku UG11 byl dokončen plný počet opakování intenzity 60% (tedy 500 opakování) a porucha nastala až v intenzitě 40%, viz schéma 14.





**Obr. 46: Průběh zatížení a deformace v posledním (devátém) zatěžovacím cyklu u vzorku (UG17)**

Změny plynoucí z porušování soudržnosti spoje se průběžně zvyšovaly s rostoucí silou a deformace byly vždy dobře patrné v přelomu cyklu – tedy v jeho druhé části po maximálním zatížení, kde se porucha rozšiřovala. Detail porušení soudržnosti vzorku u dynamické zkoušky se nelišil od statické zkoušky provedené na vzorku s podobnou aktivací samolepicí vrstvy. Dynamické zatížení postupně vyčerpávalo přídržnost pásu v oblasti méně prohrátého spoje s podkladem (černá barva, viz Schéma 13), porucha dále přecházela k ploše plnohodnotněji soudržné s EPS, v němž se projevila kohezní porucha, aniž by nastalo vyčerpání soudržnosti lepeného spoje asfaltového pásu.

#### **10.1.5 Dílčí závěr**

Dynamické účinky (v jejich nezkrácené podobě z předpisu ETAG 006) vyčerpaly soudržnost vzorků při nižší síle než u zkoušky statickou silou. Zkušební tělesa dynamické zkoušky tedy dosáhla vzhledem ke svému porušení a procentu neplnohodnotně aktivovaného spoje k podkladu nižší přídržnost než bylo dosaženo u totožných asfaltových pásů při obdobné poruše u statické zkoušky. Tento poznatek potvrzují obě zkoušená tělesa. Z dosažených výsledků lze proto předpokládat významný vliv dynamického zatížení na přídržnost samolepicích asfaltových pásů k podkladu z EPS. Z průběhu měření se ukázalo, že účinky cyklického kmitání hydroizolačního souvrství z dynamického zatížení způsobují únavové porušení spoje a pěnového polystyrenu.



## 11 Kondenzační zkouška

Zvýšená kondenzace se může objevit u skladby s klasickým uspořádáním vrstev při špatném návrhu skladby nebo při změně užívání objektu. Cílem bylo vytvořit kondenzát pod hydroizolačním souvrstvím a zjistit zda vlivem kondenzátu dohází ke změně přídržnosti samolepicího asfaltového pásu k podkladu.

### 11.1 Vyvolání kondenzace pod hydroizolačním souvrstvím

V části této práce se uskutečnila spolupráce s Ústavem měřicí techniky a automatizace na Fakultě elektrotechnické VUT v Brně. Místní laboratoř poskytla potřebné prostory i vybavení k vyvolání kondenzace a zmrazení této vlhkosti pod hydroizolačním souvrstvím. K vzorkům byla následně přilepena horní a základní deska za účelem provedení statické zkoušky přídržnosti. Vytemperované vzorky byly po vytvrzení lepidla a přišroubování ocelové desky s trnem podrobeny statické zkoušce přídržnosti v laboratorním prostředí.

#### 11.1.1 Potřebné vybavení

Hlavním komponentem k vyvolání kondenzace ve vzorcích pod asfaltovým pásem byla tepelná deska s termostatem, která zajistila odpar vody a tím zvýšení vlhkosti v nádobě pod zkušebními vzorky. Naopak horní povrch asfaltového pásu mrazily chladicí desky na  $t = -6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tímto postupem se vlhkost poblíž nejchladnějšího místa – tedy pod asfaltovým pásem srážela a mrzla. Mezi další nezbytné zařízení k provedení zkoušky patřilo:

- Trafo k napájení chladících desek,
- PC a software řídící teplotu chladících desek,
- nádoba pro umístění vody,
- dělicí deska zajišťující přechod z nádoby na vzorky,
- hliníková páska k obalení vzorků,
- odporová řezačka EPS k zarovnání spodního povrchu EPS po odstrojení základní OSB desky,
- těsnění mezi deskou a vzorkem zamezující uniku páry,
- váha ke zjištění množství kondenzátu.

#### 11.1.2 Úprava zkušebních těles a vývoj zkušebního postupu

Ze standardního vzorku se nejprve odstranila základní OSB deska, aby nebránila průniku vlhkosti do tepelného izolantu. Výška EPS byla po jejím odstrojení 80 mm. Nad nádobou s vodní hladinou a přidavkem soli chloridu draselného k zajištění 90%

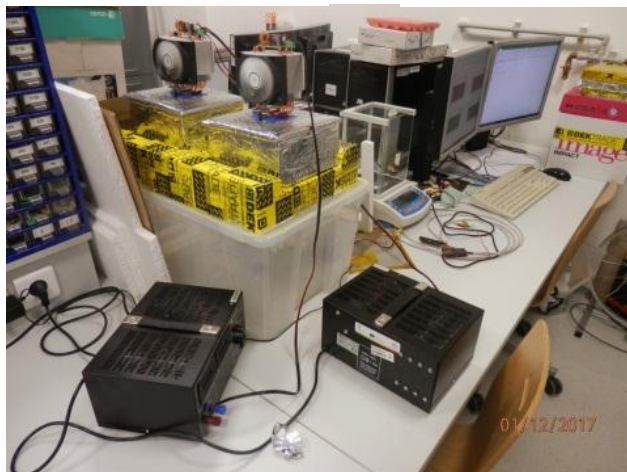
vlhkosti byl denní přírůstek kondenzátu 0,8 g. Pro urychlení hromadění kondenzátu se v další části snížila výška vzorků na 50 mm s přínosem vlhkosti 1,2 až 1,56 g denně, viz obr. 50. Plastovou nádobu se solným roztokem vystřídala nádoba plechová (viz Obr. 48), která se ohřívala externě, čímž se zvýšila ve vzorku vlhkost o 4,3 až 5 g denně. Snížení výšky vzorku a ohřívání vody se ukázalo jako vhodné opatření. Pro zajištění kondenzátu v EPS a zamezení jeho úniku byly po dobu zkoušení boční strany vzorku opatřené hliníkovou páskou, jak je patrné z Obr. 48. Vzorky s uvnitř nahromaděným kondenzátem byly vloženy do mrazícího zařízení a zamraženy na teplotu na -20 °C po dobu 24 hodin. Zkušební tělesa byla po rozmražení opatřena základní a horní OSB deskou a po vytvrzení lepidla se provedla zkouška přídržnosti statickým odtrhem.



**Obr. 48: Připravená tělesa pro kondenzační zkoušku**



**Obr. 47: Průběh kondenzační zkoušky s ohřevem vody**

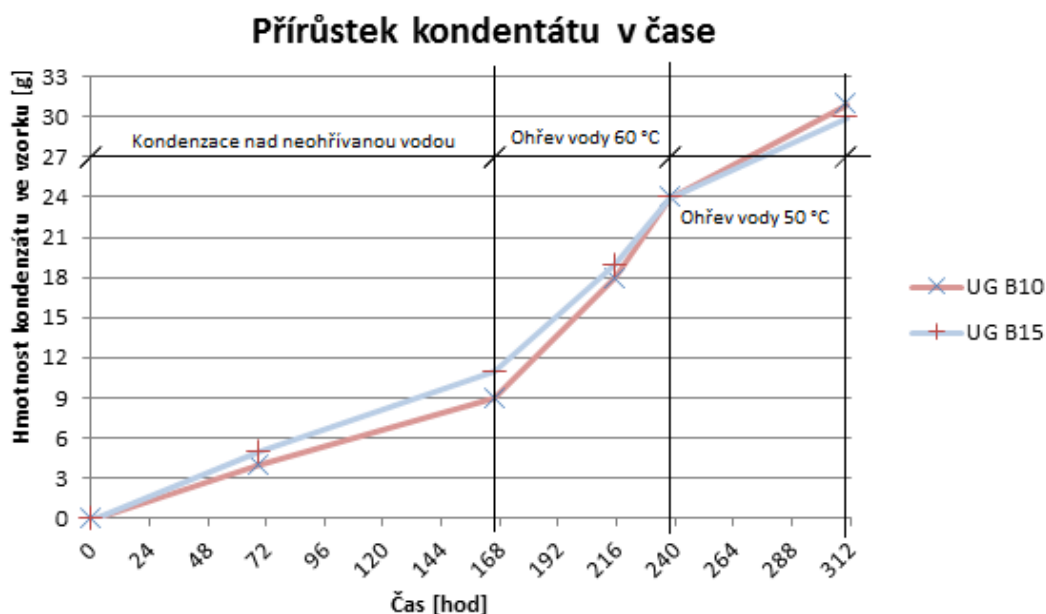


**Obr. 49: Kondenzační zkouška nad vodní hladinou bez ohřevu vody**

### 11.1.3 Vyhodnocení výsledků

Obrázek 50 uvádí hmotnost kondenzátu ve dvou zkoušených vzorcích s objemem 2 dm<sup>3</sup> izolantu EPS 100S o rozměru 200 × 200 × 50 mm. Hmotnostní přírůstek vzorku UG B10 přibyl po kondenzační zkoušce celkem 31 g, což představuje

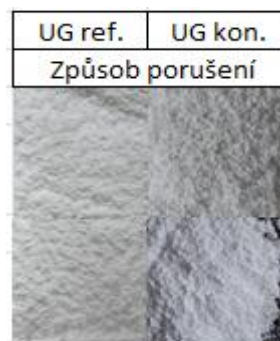
775 g kondenzátu vodní páry v 1m<sup>2</sup> EPS s tloušťkou 50 mm. Vzorek UG B15 s hmotnostním přírůstkem 30 g, odpovídá 750 g kondenzátu vodní páry v 1m<sup>2</sup> EPS s tloušťkou 50 mm. Norma 73 0540–2 Tepelná ochrana budov uvádí pro tepelně izolační materiály s objemovou hmotností do 100 kg/m<sup>3</sup> limit ročního množství zkondenzované vodní páry do 10 % z plošné hmotnosti izolantu, což představuje pro 1 m<sup>2</sup> izolantu EPS 100S v 50 mm tloušťky 100 g kondenzátu vodní páry.



Obr. 50: Přírůstek kondenzátu v čase

**Schéma 15: Výsledné přídržnosti a způsoby porušení zkušebních těles UG, po kondenzační zkoušce a srovnání s referenčními tělesy**

Řádek	UG ref.	UG kon.
	Soudržnost [kPa]	
10	95,0	102,5
15	95,0	89,0



Zamražení kondenzátu vodní páry pod asfaltovým pásem byly podrobeny dva vzorky se samolepicím asfaltovým pásem UG bez jemnozrnného posypu. Obě referenční zkušební tělesa dosáhly přídržnosti 95 kPa a byla porušena kohezně v EPS. Zkušební vzorek UG 10 po kondenzační zkoušce dosáhl hodnoty přídržnosti 102,5 kPa při

kohezním porušení v EPS. Druhý vzorek UG 15 byl porušen kohezně v EPS a z 10 % adhezně u pásu, což bylo příčinou snížené hodnoty přídržnosti 89 kPa.

#### **11.1.4 Dílčí závěr**

Na zkoušených tělesech nebyly patrné změny v přídržnosti ani způsoby porušení vlivem zmraženého kondenzátu, přestože objemová hmotnost kondenzátu převyšovala objemovou hmotnost tepelného izolantu EPS. Kondenzací vodní páry pod samolepicím asfaltovým pásem a zamražení vzniklého kondenzátu se neprokázal na zkoušených tělesech negativní vliv na přídržnost asfaltových pásů k tepelnému izolantu z EPS.

## **12 Zhodnocení dosažených výsledků s praktickými dopady do stavební praxe**

Lepicí schopnost samolepicích asfaltových pásů závisí na teplotě okolního prostředí a s rostoucí teplotou se zlepšuje. Při teplotě vzduchu 14 °C je lepicí schopnost snížena, vhodné je proto pásy ponechat před aplikací v teplejším prostředí.

Přídržnost samolepky určuje intenzita i rovnoměrnost prohřátí pásu, odborná manipulace s hořákem a také technický stav hořáku, jak ukázaly výsledky této diplomové práce. Při neodborném zpracování lze očekávat přídržnosti i výrazně pod hodnotami 50 kPa. V průměru se jedná o přídržnosti zjištěné statickým odtrhem v rozmezí od 59,8 kPa až po 92,4 kPa. Vhodné bude v praxi provádět zatížení dynamickou zkoušku, při které byly hodnoty přídržností výrazně nižší. Velmi nízké teploty (7,4 °C) při pokládce samolepicích asfaltových pásů vedou k přepalování lepicí vrstvy u pásů s posypem, které se obecně hůře provaňují, vyžadují intenzivnější plamen a zvyšují spotřebu plynu. Nedoporučuje se proto natavovat při takto nízké teplotě, alternativně lze použít pásy s povrchem se spalitelnou fólií. Vysoké teploty blízké 30 °C také nelze doporučit, protože povrch pásu se rychle natavuje, avšak samolepka není plně prohřátá. Nejvhodnější je teplota vzduchu v rozmezí 14 až 24 °C, při které byly celkově nejvyšší průměrné hodnoty přídržnosti, a to nad 90 kPa. Větrné podmínky při aplikaci prokázaly častý výskyt přetavených i nedostatečně prohřátých oblastí.

Pro odhadnutí správného okamžiku natavení asfaltových pásů přispěje přetažení nerezové špachtle s přitlakem po povrchu pásu, který je v ideálním případě natavený a po obvodu špachtle se vytlačí asfalt. Touto kontrolou rychlosti pohybu hořáku můžeme předejít neprovaření pásů. U pásů s posypem je vhodné pracovat s hořákem tak, aby v první fázi pohybu směřovaly 2/3 plamene k roli a zbytek na podkladní pás.

V druhé fázi pohybu naopak 1/3 plamene k roli a 2/3 k podkladu. Vzápětí se role pásu pootočí dál a proces se opakuje. U pásů se spalitelnou fólií se poměr zvýší ve prospěch rozvíjené role. Doporučit lze také zaválcování samolepicího pásu po odstranění separačního filmu, které přispěje k přilnutí těchto pásů k podkladu a zaválcování povrchu hydroizolačního souvrství ihned po natavení horního asfaltového pásu.

### 13 Diskuze

Lepený spoj hydroizolace k podkladu zatěžují na ploché střeše přímé účinky fyzikálních vlivů z venkovního prostředí, které byly v této práci posouzeny pomocí změny přídržnosti samolepicích pásů. Jedná se zejména o skladby s klasickým uspořádáním vrstev, kde je vystavena hydroizolace významným teplotním změnám pohybujícím se od -20 až k 90 °C. Dalším vlivem je nárazový vítr, způsobující podél atik a rohů v závislosti na výšce objektu významné podtlakové sání. Z vnitřního prostředí působí na skladbu teplo a vlhkost, čímž při nevhodném návrhu nebo užívání objektu dochází ke vzniku kondenzátu pod asfaltovým pásem, který v tepelném izolantu pod pásem v zimním období mrzne.

Aplikace samolepicích pásů je velmi choulostivá na provedení přestože označení samolepicí působí dojmem, že je aplikace velmi jednoduchá. V jednom kroku musí dojít k vzájemnému provaření obou pásů a k dostatečnému prohřátí samolepicí vrstvy, aby se přilepila k EPS. Nesmí zároveň nastat degradace materiálů vlivem vysoké teploty plamene. U všech sledovaných teplot nastala porušení těles jak adhezní u asfaltového pásu (což vypovídá v závislosti na ploše odtrženého polystyrenu o míře prohřátí), tak i kohezní porušení v EPS, a to zejména u nejlépe provedené aplikace samolepicích pásů.

Při výrobě vzorků se vylepšil technologický postup fixace horních odtrhových desek, které přinášely v předchozí práci problémy s lepením. Uplatnilo se polyuretanové lepidlo určené na hydroizolace, které méně napěňuje. Na místo složitého čištění ocelových desek s maticí, které byly po odtrhové zkoušce přilepené k asfaltovému pásu se přistoupilo k lepení OSB desky k povrchu hydroizolace. Perforovaná ocelová deska se následně fixovala vruty k OSB desce, což umožnilo její opakované používání bez potřeby zdoluhavého čištění.

U velkoplošného modelu se pravděpodobně vyskytly komplikace s celoplošným lepením EPS, který nebyl po aplikaci lepidla dostatečně zatížen. V praxi

se lepí EPS na pruhy lepidla. Při výšce objektu 20 m, kde může dosahovat zatížení sání větrem až 3,6 kPa se doporučuje dávkovat v rohových oblastech 9 pruhů lepidla PUK Börner na metr. V našem případě celoplošného lepení dosahujeme přídržnosti až 110 kPa. Celoplošný spoj je proto nutný k eliminaci vzniku porušení spoje EPS a lepidla. Zpracování rozsáhlého modelu zahrnujícího 208 kusů zkušebních těles však vyžaduje pro lepení EPS k podkladu spolupráci více pracovníků, větší prostor i objem zátěžového materiálu a ukázalo se, že není v silách jednoho pracovníka zajistit bezchybně celý výrobní proces.

## 14 Závěr

Obsah této diplomové práce byl zaměřen na sledování vlastností lepených hydroizolačních systémů plochých střech s modifikovanými asfaltovými pásy. V teoretické části byla shrnuta současná problematika přídržnosti hydroizolačních asfaltových pásů a informace z aktuálně zpracovávané normy.

Experimentální část byla vyhrazena sledování teplotních a vlhkostních vlivů na přídržnost samolepicích asfaltových pásů u klasické skladby ploché střechy. Sledoval se vliv na přídržnost u rozdílných teplotně vlhkostních podmínek při realizaci a také změny přídržnosti po působení cyklického zatěžování skladby ohříváním a mrazem. Posuzoval se také vliv kondenzace. Dále bylo provedeno hodnocení vlivu dynamického zatížení na soudržnost na rozhraní asfaltového samolepicího pásu a tepelného izolantu.

Navržený zkušební postup sledování vlivu teploty a vlhkosti na přídržnost samolepicích pásů při realizaci v exteriéru byl ověřen na deseti soustavách modelů s počtem 320 kusů zkušebních těles. Ze zjištěných výsledků se ukázalo, že z teplotně vlhkostních realizačních vlivů není výsledná přídržnost výrazně ovlivněna teplotou vzduchu, ale že přídržnost závisí na kvalitě prohřátí samolepicího asfaltového pásu při natavení. Podstatný vliv na kvalitu zpracování a výslednou přídržnost hydroizolace má však intenzivní vítr, který unáší plamen a také lidský faktor. V konečném důsledku mohou mít větrné podmínky a neopatrnost při natavování zásadnější vliv na kvalitu spoje než samotná teplota okolního prostředí.

Cyklické kmitání použité při dynamické zkoušce ukázalo na významný vliv tohoto druhu zatížením, které způsobilo porušení vzorků při nižší hodnotě přídržnosti v porovnání s hodnotami dosaženými při statické zkoušce.

Po cyklickém působení mrazu simulující zimní podmínky nebyly zaznamenány změny v přídržnosti samolepicího pásu k podkladu. U ohřívacích cyklů simulující letní podmínky došlo ke zlepšení přídržnosti u samolepicích pásů, kde nebyla při aplikaci dostatečně prohřátá lepicí vrstva. Ze zjištěného poznatku lze tedy vyvodit, že prohřívání samolepicích pásů na ploché střeše povede ke zlepšení přídržnosti lepeného spoje samolepicího pásu k tepelnému izolantu z EPS.

Vznik kondenzace pod asfaltovým pásem zajistil v této práci navržený a experimentálně ověřený systém pro difuzi vodní páry. Při statické zkoušce přídržnosti u zkoušených těles na účinky zmrazení kondenzátu pod asfaltovým pásem nebyl prokázán negativní vliv na přídržnost samolepicího asfaltového pásu k EPS.

V rámci této diplomové práce navržené a zhotovené přenosné modely pro natavování pásů v exteriéru se osvědčily a vyhovují danému použití. Vhodný je i nový systém fixace ocelových desek s maticí k provedení odtrhové zkoušky. Velkoplošný model je výhodný z hlediska natavování pásů v plné délce 7,5 m a podpoření rovnoměrné přídržnosti. Navržené testovací metody zaměřené na teplotní cyklování a vyvolání kondenzace pod asfaltovým pásem byly experimentálně prověřeny, čímž se potvrdila funkčnost a vhodnost použitých metod.

Další výzkum v této oblasti by bylo vhodné směřovat k cyklickému ohřívání zkoušených těles a sledování vlivu na přídržnost samolepicího asfaltového pásu při vyšším počtu cyklů, než byly aplikovány v této práci, čímž se může potvrdit vzniklý předpoklad, že teplé prostředí zlepší přídržnost nedostatečně prohřátého spoje. Vhodné by bylo také pokračovat v sériích dynamických zkoušek, které povedou k bližšímu upřesnění vlivu cyklického namáhání na vyčerpání přídržnosti zkoušených vzorků. K posouzení vlivu kondenzace pod asfaltovým pásem na přídržnost samolepicích pásů by bylo vhodné podrobit zkoušená tělesa s kondenzátem také působení cyklických zmrazovacích cyklů. Možné komplikace s dávkováním lepidla při lepení EPS k podkladu mohou být předmětem výzkumu další práce, kde by bylo vhodné zabývat se optimální dávkou lepidla a způsobem aplikace pro zajištění jeho rovnoměrného nanesení.



## Literární zdroje

- [1] ČSN EN 73 1901 *Navrhování střech – Základní ustanovení*. 03/2013
- [2] *Alumasc roofing systems*, [online]. 2015 [cit. 2017-11- 24].  
Dostupné z <https://www.alumascroofing.co.uk/products/waterproofing/sustainable-roofing-systems/derbigum-olivine-membrane/>
- [3] *Plasti fab EPS product solutions*, [online]. [cit. 2017-11- 24]. Dostupné z <http://www.plastifab.com/solutions/commercial/roofing/sloped-roofing.html>
- [4] VEVERKA, J. a kol. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: nakladatelství Vutium, 2006. ISBN 80-214-2910-0
- [5] *Langley roofing systems*, [online]. [cit. 2017-11- 24]. Dostupné z <http://www.langley.co.uk/roof-systems/built-up-roofing/ta-20/>
- [6] DEPLAZES, A. *Constructing and architecture materials processes structures*, p.214–218., Berlín: 2005 Birkhäuser – Publishers for Architecture ISBN: 9783764386313.
- [7] Flat & Low-Slope Roof Moisture Warnings & Cures, [online]. [cit. 2017-11- 24]. Dostupné z [https://inspectapedia.com/Energy/Flat\\_Roof\\_Moisture.php#reviewers](https://inspectapedia.com/Energy/Flat_Roof_Moisture.php#reviewers)
- [8] *Lepené systémy střešních pláštů s povlakovou krytinou*, [online].2016, Sdružení výrobců pro ploché střechy, p.2., [cit. 2017-11- 24]. Dostupné z <http://www.systemovaplochastrecha.cz/ke-stazeni/clanky/>
- [9] Systémy mechanicky kotvených pružných střešních hydroizolačních povlaků, *ETAG 006: Řídící pokyn pro evropská technická schválení*, 2000, Brusel.
- [10] Zpracovávaná norma - *Flexible sheets for waterproofing – Determination of the resistance to wind load of bonded flexible sheets for roof waterproofing*.
- [11] *All types of flat roofing*, [online]. 2013 [cit. 2017-11- 24]. Dostupné z <http://kettyle.com/flat-roofing-html/>
- [12] KERSEY, T., SANTOS, E., GOODRUM, K., *Performance Properties of Interply Adhesive Used with SBS-Modified Bitumen Membranes*. Dostupné z [docserver.nrca.net/technical/7857.pdf](http://docserver.nrca.net/technical/7857.pdf)
- [13] Picture of waterproof membrane, [online]. [cit. 2017-11- 24].  
<https://www.linkedin.com/pulse/green-roof-root-resisted-sbsapp-waterproof-membrane-roy-feng>
- [14] PLECHÁČ, Z. a kol. *Abeceda asfaltových hydroizolací*, Svaz výrobců asfaltových pásů 2016, ISBN:978-80-905563-0-0.
- [15] ČERMÁKOVÁ, B., MUŽÍKOVÁ, R. *Ozeleněné střechy*, Praha: Praganda 2009 ISBN 978-80-247-1802-6.

- [16] Lyons, A. Bitumen and flat roofing materials, Materials for builder (Third Edition), 2006, P.197–209.
- [17] The finish roofing association, *Roof system manual*, p.25–26, [online]. [cit. 2017 11- 24]. Dostupné z [http://www.kattoliitto.fi/files/309/Roof\\_systems\\_manual.pdf](http://www.kattoliitto.fi/files/309/Roof_systems_manual.pdf)
- [18] Lepenky z asfaltových pásů, [online]. 2016 [cit. 2017 11- 24]. Dostupné z <https://www.krytiny-strechy.cz/aktuality/?nid=20740-lepenky-z-asfaltovych-pasu-popis-a-tipy.html#.Wk5AsfDiaUI>
- [19] HŮLKA, C. a kol. Asfaltové pásy - montážní návod, p.[5, 18–20], Dek a.s. [online]. 2016 [cit. 2017 11- 24]. Dostupné z [https://atelier-dek.cz/docs/atelier\\_dek\\_cz/publikace/MONTAZNI-NAVODY/asfaltove-pasy-2016-01.pdf](https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/MONTAZNI-NAVODY/asfaltove-pasy-2016-01.pdf)
- [20] ZANCHETTA, N., MOHSEEN, S. Patent, Self-adhered modified bitumen roofing material, [online]. 2004 [cit. 2017 11- 24]. Dostupné z <https://www.google.com/patents/US6696125>
- [21] ŠILHAN, O.. *Vady a poruchy střešních pláštů adheze asfaltových pásů ke kovovému podkladu*, Brno, 2006, Disertační práce FAST.
- [22] LIU, K., PAROLI, R.M., SMITH, T.L. *Blistering in SBS Polymer Modified Bituminous Roofs*, No.38, National Research Council of Canada, 2000 ISSN 1206-1220.
- [23] NOVOTNÝ, M., MISARIK, I., ŠUTLIAK, S. *Hydroizolace plochých střech*, Grada Publishing, a.s., Praha, 2014, ISBN 978-80-247-5002-6.
- [24] ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení konstrukcí větrem*, Český normalizační institut, 2007
- [25] GEURTS, P. W., KOPP, G. A., MORRISON, J. *A review of the wind loading zones for flat roofs in code provisions*. [online]. 2016 [cit. 2017 11- 24]. Dostupné z <http://www.iawe.org/Proceedings/EACWE2013/C.P.W.Geurts.pdf>
- [26] WILIAMSON, F. Wind load on flat roof. [online]. 07. 2017 [cit. 2017 11-24]. Dostupné z <http://www.ikopolymeric.com/wind-load-flat-roofs/>
- [27] SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty* P.638–644, Vol. 3., Praha 2013 ISBN 978-80-260-4972-2
- [28] Polystyren a izolace ploché střechy, [online]. [cit. 2017 11-24]. Dostupné z <http://www.coleman.cz/polystyren-a-ploche-strechy/>

## Přílohy vztahující se k praktické části

Tabulka 10: Podrobné informace o porušení vzorků PG, PK t = 7,4 °C RV = 58 %

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přídržnost [kPa]	Místo porušení	UG, UK Poznámka (samolepicí pás bez jemnozrnného posypu)
7,4 °C 58 %						
UK	A	1	1,8	45,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		2	3,2	79,8	PÁS – EPS – DEL	odtržené kuličky EPS
		3	1,5	38,3	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		4	1,5	38,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
UG	A	5	1,0	24,3	PÁS – EPS	špatná aktivace z 90 %
		6	1,8	45,0	EPS – PÁS	špatná aktivace 50 %
		7	2,8	69,0	EPS – EPS	špatná aktivace 10 %
		8	2,2	56,0	EPS – PÁS	špatná aktivace 30 %
UK	B	1	3,1	78,0	PÁS – EPS	odtržené kuličky EPS
		2	3,1	76,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		3	2,8	70,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		4	3,1	78,5	EPS – PÁS	odtržené kuličky EPS
UG	B	5	2,2	55,0	EPS – PÁS	špatná aktivace 25 %
		6	0,7	17,3	EPS – PÁS – DEL	špatná aktivace 25 %
		7	2,4	60,5	EPS – OSB	lok. nesoudržnost OSB
		8	3,9	105,5	EPS – PÁS	odtržené kuličky EPS
UK	C	1	2,4	60,8	EPS – OSB	nesoudržnost EPS–OSB
		2	2,8	69,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		3	3,1	77,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		4	4,2	106,0	EPS – EPS	100 % koheze
UG	C	5	3,8	95,0	EPS – EPS	špatná aktivace 10 %
		6	3,0	76,0	EPS – EPS – DEL	špatná aktivace 25 %
		7	2,0	51,0	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		8	1,0	24,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 90 %
UK	D	1	2,8	70,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		2	2,2	53,8	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		3	2,1	51,3	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 30 %
		4	4,0	99,5	EPS – EPS	100 % koheze
UG	D	5	3,8	95,5	EPS – PÁS	špatná aktivace 10 %
		6	2,1	52,0	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace 75 %
		7	0,9	21,5	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace 90 %
		8	2,4	59,0	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace 30 %
Výsledná přídržnost [kN]	UK	25% KVANTIL	53,1	UG	54,3	
		PRŮMĚR	70,5		59,8	
		75% KVANTIL	78,1		80,8	

**Tabulka 11: Podrobné informace o porušení vzorků UG, UK t = 7,4 °C RV = 58 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přidrčnost [kPa]	Místo porušení	PK, PG Poznámka (samolepicí pás s jemnozrnným posypem)
7,4 °C 58 %						
PG	A	1	2,1	52,0	PÁS – EPS + DEL	50 % přetaveno
		2	2,1	53,5	PÁS – EPS	75 % přetaveno
		3	1,7	42,3	PÁS – EPS	50 % přetaveno
		4	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
PK	A	5	2,7	68,5	EPS – PÁS + DEL	50% přetaveno
		6	1,6	38,8	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 % špatná aktivace z 50 %
		7	2,0	49,3	PÁS – EPS	
		8	2,7	66,5	PÁS – EPS	50 % přetaveno
PG	B	1	3,1	77,8	PÁS – EPS + DEL	50 % přetaveno
		2	2,0	50,5	PÁS – EPS	75 % přetaveno
		3	1,6	40,0	PÁS – EPS	50 % přetaveno
		4	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
PK	B	5	2,2	54,0	PÁS – EPS + DEL	50% přetaven
		6	Vadný vzorek ( neprovaření pásů)			
		7	3,6	88,8	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		8	2,9	71,5	PÁS – EPS + DEL	25 % přetaveno
PG	C	1	3,5	88,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		2	4,7	117,5	EPS – EPS	100 % koheze
		3	3,4	85,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		4	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
PK	C	5	3,0	76,0	EPS–PÁS	plošná koheze EPS
		6	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		7	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		8	3,1	77,5	EPS – PÁS	25 % přetaveno
PG	D	1	3,1	77,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		2	3,8	94,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		3	3,8	95,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		4	1,8	44,3	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
PK	D	5	3,4	84,3	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		6	2,4	61,0	EPS – PÁS	špatná aktivace 30 %
		7	3,7	93,0	EPS – PÁS	25 % přetaveno
		8	3,2	80,0	EPS – PÁS + DEL	25 % přetaveno
Výsledná přidrčnost [kN]	PK	25% KVANTIL	61,0	PG	48,9	
		PRŮMER	71,5		65,5	
		75% KVANTIL	80,0		89,9	

**Tabulka 12: Podrobné informace o porušení vzorků UG, UK t = 14,4 °C RV = 68,3 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přidržnost [kPa]	Místo porušení	UK, UG Poznámka (samolepicí pás bez jemnozrnného posypu)
14,4 °C 68,3 %						
UK	A	1	2,6	64,0	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 30 %
		2	3,1	77,3	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		3	2,1	52,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 50 %
		4	2,3	57,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
UG		5	4,3	108,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		6	1,4	36,0	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		7	3,0	76,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		8	2,0	49,5	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
UK	B	1	2,9	72,5	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		2	4,0	100,0	EPS – EPS	špatná aktivace z 10 %
		3	3,2	80,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		4	3,8	95,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
UG		5	4,4	110,0	EPS – EPS	100 % koheze
		6	3,8	94,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		7	3,5	87,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		8	2,3	57,0	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
UK	C	1	2,8	70,0	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 30 %
		2	4,3	107,5	EPS – EPS	100 % koheze
		3	4,0	100,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		4	3,12	78,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
UG		5	4,0	99,3	EPS – EPS	100 % koheze
		6	4,7	116,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		7	4,5	113,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		8	2,3	57,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
UK	D	1	2,3	56,3	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 30 %
		2	3,3	82,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		3	3,0	75,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 50 %
		4	3,6	89,3	EPS – EPS	100 % koheze
UG		5	3,9	98,5	EPS – EPS	100 % koheze
		6	3,6	88,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		7	2,3	57,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 50 %
		8	1,3	32,8	PÁS – EPS	špatná aktivace z 80 %
Výsledná přidržnost [kN]	UK	25% KVANTIL	65,3	UG	57,5	
		PRŮMER	76,5		81,5	
		75% KVANTIL	84,2		99,1	

**Tabulka 13: Podrobné informace o porušení vzorků PG, PK t = 14,4 °C RV = 68,3 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přídržnost [kPa]	Místo porušení	PG, PK Poznámka (samolepicí pás s jemnozrnným posypem)
14,4 °C 68,3 %						
PG	A	1	3,2	80,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		2	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		3	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		4	3,3	82,5	EPS – PÁS	25 % přetaveno
PK		5	3,9	97,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		6	3,7	92,5	EPS – EPS	špatná aktivace z 10 %
		7	2,6	65,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		8	Chyba lepení			
PG	B	1	4,5	112,8	EPS – EPS	100 % koheze
		2	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		3	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		4	3,8	95,0	EPS – PÁS	10 % přetaveno
PK		5	3,3	87,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		6	3,4	84,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		7	3,4	86,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		8	2,6	65,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
PG	C	1	3,6	90,8	EPS-PÁS+DEL	špatná aktivace z 10 %
		2	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		3	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		4	4,0	98,8	EPS – EPS	100 % koheze
PK		5	Chyba lepení			
		6	3,3	75,3	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		7	3,4	84,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		8	3,6	90,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
PG	D	1	4,2	105,0	EPS – EPS	100 % koheze
		2	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		3	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		4	2,8	70,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
PK		5	3,4	72,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		6	Chyba lepení			
		7	2,6	63,8	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		8	3,2	76,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
Výsledná přídržnost [kN]	PG	25% KVANTIL	81,9	PK	72,5	
		PRŮMER	92,9		84,3	
		75% KVANTIL	100,3		87,8	

**Tabulka 14: Podrobné informace o porušení vzorků PG t = 22,2 °C RV = 73,5 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přídržnost [kPa]	Místo porušení	PG Poznámka (samolepicí pás s jemnozrnným posypem)
22,2 °C 73,5 %						
PG	A	1	3,4	85,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		2	2,3	56,3	PÁS – EPS + DEL	30 % delaminace pásu
		3	3,0	74,0	EPS – PÁS + DEL	75 % přetaveno
		4	2,7	67,0	EPS – PÁS	50 % přetaveno
		5	2,5	62,5	PÁS – EPS	75 % přetaveno
		6	1,7	42,0	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB 50 %
		7	3,1	78,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		8	1,6	39,9	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB 50 %
PG	B	1	3,5	86,5	EPS – EPS	100% koheze EPS
		2	2,0	51,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		3	3,3	82,8	PÁS – EPS	50 % přetaveno
		4	3,1	76,3	EPS – PÁS	50 % přetaveno
		5	2,4	60,0	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB 50 %
		6	3,2	80,0	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB 25 %
		7	3,5	86,3	PÁS – EPS	plošná koheze
		8	2,0	49,5	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB 50 %
PG	C	1	3,3	81,3	EPS – EPS	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		2	2,8	70,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		3	2,5	62,5	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		4	2,0	51,0	EPS – PÁS	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		5	4,4	110,0	EPS – EPS	100% koheze EPS
		6	3,0	74,0	EPS – PÁS	25 % přetaveno
		7	2,2	55,0	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		8	2,1	53,0	PÁS – EPS	75 % přetaveno
PG	D	1	2,8	69,8	EPS – PÁS	30 % přetaveno
		2	2,7	67,3	PÁS – EPS+ DEL	špatná aktivace z 50 %
		3	2,2	55,0	EPS – PÁS	nesoudržnost EPS – OSB 50 %
		4	2,2	55,8	PÁS – EPS + DEL	25 % přetaveno
		5	2,9	72,5	PÁS – EPS	30 % přetaveno
		6	3,0	74,5	EPS – PÁS	25 % přetaveno
		7	3,4	84,0	PÁS – EPS	26 % přetaveno
		8	1,9	46,5	EPS – PÁS	75 % přetaveno
Výsledná přídržnost [kN]	PG		25% KVANTIL	69,3		
			PRŮMER	75,4		
			75% KVANTIL	83,1		

**Tabulka 15: Podrobné informace o porušení vzorků PK t = 22,2 °C RV = 73,5 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přídržnost [kPa]	Místo porušení	PK Poznámka (samolepicí pás s jemnozrnným posypem)
22,2 °C 73,5 %						
PK	A	1	1,3	<del>31,3</del>	PÁS – EPS	50 % přetaveno
		2	1,9	48,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 75 %
		3	1,6	38,8	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		4	2,6	65,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		5	2,2	54,3	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 50 %
		6	2,0	50,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		7	3,0	74,8	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		8	1,4	<del>34,8</del>	PÁS – EPS	75 % přetaveno
PK	B	1	1,1	<del>26,8</del>	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB 75 %
		2	2,4	59,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		3	2,6	<del>64,5</del>	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		4	3,6	59,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		5	3,6	89,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		6	4,0	101,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		7	2,5	62,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		8	2,0	<del>49,3</del>	PÁS – EPS	50 % přetaveno
PK	C	1	1,5	<del>38,3</del>	PÁS – EPS + DEL	50 % přetaveno
		2	1,6	40,0	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		3	2,9	72,0	PÁS – EPS + DEL	
		4	3,0	75,8	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		5	3,7	92,5	EPS – EPS	100% koheze EPS
		6	3,8	95,0	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		7	2,9	72,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		8	2,2	<del>53,8</del>	PÁS – EPS	75 % přetaveno
PK	D	1	1,5	<del>36,8</del>	PÁS – EPS + DEL	50 % přetaveno
		2	1,2	<del>29,5</del>	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		3	1,8	<del>43,8</del>	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 50 %
		4	3,4	46,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		5	3,4	84,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		6	2,7	66,3	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		7	2,2	54,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		8	2,0	<del>50,8</del>	PÁS – EPS	75 % přetaveno
Výsledná přídržnost [kN]	PK		25% KVANTIL	51,6		
			PRŮMER	63,8		
			75% KVANTIL	75,5		



**Tabulka 16: Podrobné informace o porušení vzorků PK t = 24 °C RV = 47 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přidrženost [kPa]	Místo porušení	PK Poznámka (samolepicí pás s jemnozrnným posypem)
24 °C 47%						
PK	A	1	1,0	<del>24,5</del>	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		2	3,5	86,3	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		3	2,1	51,8	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		4	2,0	<del>48,8</del>	EPS-PÁS+DEL	špatná aktivace z 50 %
		5	3,0	75,0	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		6	2,6	64,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		7	3,3	82,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		8	2,9	72,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
PK	B	1	1,4	33,8	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		2	4,5	113,5	EPS – EPS	100 % koheze
		3	3,6	90,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		4	3,5	87,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		5	2,8	70,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		6	2,7	66,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		7	4,0	101,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		8	3,1	76,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
PK	C	1	4,4	110,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		2	4,1	103,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		3	2,7	67,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		4	3,3	65,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		5	2,5	62,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		6	4,1	101,3	EPS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		7	2,1	51,3	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		8	3,6	89,5	EPS – OSB	lok. nesoudržnost
PK	D	1	2,2	<del>54,5</del>	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 50 %
		2	2,5	62,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 50 %
		3	3,2	80,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		4	2,4	59,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		5	2,6	65,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 30 %
		6	3,0	74,3	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		7	3,1	77,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		8	2,3	57,8	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 50 %
Výsledná přidrženost [kN]	PK	25% KVANTIL	64,5			
		PRŮMER	74,3			
		75% KVANTIL	87,5			

**Tabulka 17: Podrobné informace o porušení vzorků PG t = 24 °C RV = 47 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přidrčnost [kPa]	Místo porušení	PG Poznámka (samolepicí pás s jemnozrnným posypem)
24 °C 47%						
PG	A	1	3,9	96,5	EPS – EPS	100 % koheze
		2	4,0	99,3	EPS – EPS	100 % koheze
		3	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		4	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		5	3,7	91,3	EPS – EPS	100 % koheze
		6	3,6	89,5	EPS – EPS	lok. nesoudržnost OSB
		7	3,2	80,0	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		8	2,5	62,5	EPS – PÁS + DEL	plošná koheze EPS
PG	B	1	3,8	94,3	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		2	2,5	62,5	EPS – PÁS	přetaveno 50 %
		3	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		4	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		5	4,1	102,5	EPS – EPS	100 % koheze
		6	4,0	98,8	EPS – EPS	100 % koheze
		7	3,3	82,5	EPS – PÁS	100 % koheze
		8	2,7	67,5	EPS – PÁS + DEL	plošná koheze EPS
PG	C	1	3,1	76,3	EPS – PÁS + DEL	plošná koheze EPS
		2	3,3	82,3	EPS – PÁS	50 % přetaveno
		3	3,0	74,5	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		4	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		5	4,1	102,8	EPS – EPS	100 % koheze
		6	3,9	97,0	EPS – EPS	100 % koheze
		7	4,4	110,8	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		8	2,9	72,5	EPS – PÁS + DEL	plošná koheze EPS
PG	D	1	3,0	75,0	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		2	3,2	78,8	EPS – EPS	plošná koheze EPS
		3	3,7	93,5	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		4	Vadný vzorek (neprovaření pásů)			
		5	4,1	103,3	EPS – EPS	100 % koheze
		6	3,8	94,8	EPS – EPS	100 % koheze
		7	3,1	77,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 10 %
		8	3,9	97,0	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
Výsledná přidrčnost [kN]	PG	25% KVANTIL	78,4			
		PRŮMER	92,4			
		75% KVANTIL	97,4			

**Tabulka 18: Podrobné informace o porušení vzorků UG t = 28,7 °C RV = 33,9 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přidržnos t [kPa]	Místo porušení	UG Poznámka (samolepicí pás bez jemnozrnného posypu)
28,7°C 33,9 %						
UG	A	1	2,3	58,5	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 50 %
		2	1,8	45,3	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 50 %
		3	2,8	70,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		4	2,1	51,3	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		5	3,1	78,0	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		6	2,8	68,8	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		7	3,1	76,3	PÁS – EPS	špatná aktivace z 25 %
		8	2,1	51,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
UG	B	1	3,5	87,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		2	1,2	30,8	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace ze 75 %
		3	3,6	90,0	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		4	3,0	75,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		5	4,2	105,0	EPS – EPS	100 % koheze
		6	4,6	116,0	EPS – EPS	100 % koheze
		7	2,5	62,8	PÁS – EPS	plošná koheze EPS
		8	1,9	47,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
UG	C	1	2,3	57,0	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		2	2,7	68,5	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		3	2,7	67,5	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		4	3,5	87,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		5	4,2	104,5	EPS – EPS	100 % koheze
		6	4,7	116,5	EPS – PÁS	lok. nesoudržnost–zvlněný pás
		7	3,1	76,3	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		8	2,5	62,8	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
UG	D	1	1,3	32,5	PÁS – EPS+ DEL	špatná aktivace ze 75 %
		2	1,4	34,8	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		3	2,6	65,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		4	2,9	72,0	PÁS – EPS	30 % přetaveno
		5	4,4	109,5	EPS – EPS	25 % přetaveno
		6	3,6	90,0	EPS – PÁS	lok. nesoudržnost–zvlněný pás
		7	3,1	76,3	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
		8	2,5	62,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 30 %
Výsledná přidržnost [kN]	UG		25% KVANTIL	57,4		
			PRŮMER	68,6		
			75% KVANTIL	84,8		

**Tabulka 19: Podrobné informace o porušení vzorků UK t = 28,7 °C RV = 33,9 %**

Ozn. Tělesa	Sloupec	Řádek	Max. síla [kN]	Přidrženost [kPa]	Místo porušení	UK Poznámka (samolepicí pás bez jemnozrnného posypu)
28,7 °C 33,9 %						
UK	A	1	3,4	85,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		2	3,4	84,0	EPS – EPS	100 % koheze
		3	3,6	89,3	EPS – EPS	100 % koheze
		4	3,5	87,5	EPS – EPS	100 % koheze
		5	3,7	93,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		6	2,5	62,0	EPS – PÁS	slabá aktivace z 50 %
		7	2,5	62,5	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 30 %
		8	3,1	77,0	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
UK	B	1	3,0	74,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		2	3,2	81,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		3	3,1	77,5	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		4	2,8	70,3	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		5	3,6	90,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		6	2,7	67,0	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
		7	3,3	81,5	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		8	3,0	73,8	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
UK	C	1	2,7	67,0	EPS – PÁS	slabá aktivace z 50 %
		2	3,3	82,8	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		3	2,4	60,3	EPS – PÁS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		4	3,6	88,8	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB
		5	2,3	58,0	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		6	3,7	92,8	EPS – OSB	lok. nesoudržnost EPS – OSB
		7	2,9	71,3	EPS – EPS + DEL	špatná aktivace z 25 %
		8	2,9	72,3	EPS – PÁS	špatná aktivace z 25 %
UK	D	1	2,0	50,0	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		2	2,3	57,5	PÁS – EPS	špatná aktivace z 50 %
		3	3,6	90,0	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
		4	2,6	65,0	PÁS – EPS + DEL	špatná aktivace z 50 %
		5	2,5	61,5	PÁS – EPS	špatná aktivace ze 75 %
		6	3,6	88,8	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB
		7	2,9	73,0	EPS – OSB	nesoudržnost EPS – OSB
		8	3,5	87,5	EPS – PÁS	plošná koheze EPS
Výsledná přidrženost [kN]	UK	25% KVANTIL	66,5			
		PRŮMER	75,8			
		75% KVANTIL	87,5			

## Seznam zkratk

EPS – expandovaný pěnový polystyren

XPS – extrudovaný polystyren

OSB – orienten strand board (lisovaná deska z orientovaně rozprostřených třísek)

PIR – polyisokyanurát

PU – polyuretan

PUK – lepidlo výrobce Georg Börner

SBS – Styren-butadien-styren

SIS – Styren-isopren-styren

## Seznam obrázků

Obr. 1: Ukázka lehké ploché střechy s dřevěným záklopem [2].....	11
Obr. 2: Ukázka lehké ploché střechy s trapézovým plechem [3].....	11
Obr. 3: Těžká plochá střecha s nosným železobetonovým stropem [5] .....	12
Obr. 4: Skladba s klasickým uspořádáním vrstev (proudění tepla a migrace vlhkosti) .	14
Obr. 5: Schémata dvouplášťové ploché střechy – větrané s lehkým horním pláštěm	14
Obr. 6 Schémata dvouplášťové ploché střechy – větrané s těžkým horním pláštěm ...	14
Obr. 7: Schéma vzniku podtlaku vlivem proudění větru [26] .....	15
Obr. 8: Schéma vzniku vírů v závislosti na úhlu působení větrného zatížení [25] .....	15
Obr. 9: Plochá střecha rozdělená na oblasti podle zatížení větrem [24].....	16
Obr. 10: Příklad vhodného uspořádání tepelně-izolačních desek [10] .....	20
Obr. 11: Průběh větrného zatížení pro podtlak pod $6\text{Kn/m}^2$ [10].....	21
Obr. 12: Průběh větrného zatížení pro podtlak $6\text{ kN/m}^2$ a více [10].....	21
Obr. 13: Proporcionální posloupnost sání větru [10].....	22
Obr. 14: Ukázka struktury asfaltového hydroizolačního pásu .....	24
Obr. 15: Odolnost hydroizolací proti odlupování při stárnutí – různé aplikační technologie [12].....	27
Obr. 16: Výsledky odolnosti lepených hydroizolačních souvrství na cyklickou únavu [12] .....	29
Obr. 17: Adheze samolepicích pásů při teplotě $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ – vliv penetrace na podkladu z překližky a také rozdílné hodnoty adheze u odlišných výrobků na podkladu z HDPE [12].....	30
Obr. 18: Návrh konstrukce zkušebního tělesa pro destruktivní zkoušení soudržnosti hydroizolačního souvrství s podkladem .....	35
Obr. 19: Materiály a zařízení (řezačka polystyrenu) ke zpracování podkladu pod asfaltové hydroizolační souvrství.....	40
Obr. 20: Základní OSB deska s rámečkem před lepením .....	44
Obr. 21: Základní OSB deska opatřená krepovou páskou .....	44
Obr. 22: Hlavní tělesa skladby s hranou $200\text{ mm}$ .....	45
Obr. 23: Ukázka kónického tvaru distančních žeber .....	45
Obr. 24: Distanční tělesa .....	45



Tabulka 8: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů PG, PK (s jemnozrnným posypem)	63
Tabulka 9: Výsledné přídržnosti samolepicích pásů UG, UK (bez jemnozrnného posypu)	65
Tabulka 10: Podrobné informace o porušení vzorků PG, PK $t = 7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 58 %	88
Tabulka 11: Podrobné informace o porušení vzorků UG, UK $t = 7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 58 %	89
Tabulka 12: Podrobné informace o porušení vzorků UG, UK $t = 14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 68,3 %	90
Tabulka 13: Podrobné informace o porušení vzorků PG, PK $t = 14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 68,3 %	91
Tabulka 14: Podrobné informace o porušení vzorků PG $t = 22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 73,5 %	92
Tabulka 15: Podrobné informace o porušení vzorků PK $t = 22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 73,5 %	93
Tabulka 16: Podrobné informace o porušení vzorků PK $t = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 47 %	94
Tabulka 17: Podrobné informace o porušení vzorků PG $t = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 47 %	95
Tabulka 18: Podrobné informace o porušení vzorků UG $t = 28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 33,9 %	96
Tabulka 19: Podrobné informace o porušení vzorků UK $t = 28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ RV = 33,9 %	97

## Seznam schémat

Schéma 1: Maximální dosažené přídržnosti pásů UK, UG a způsoby jejich porušení	55
Schéma 2: Maximální dosažené přídržnosti pásů PG, PK a způsoby jejich porušení	56
Schéma 3: Maximální dosažené přídržnosti pásů UG, UK a způsoby jejich porušení	57
Schéma 4: Maximální dosažené přídržnosti pásů PG, PK a způsoby jejich porušení	58
Schéma 5: Maximální dosažené přídržnosti pásu PK a způsoby jejich porušení	60
Schéma 6: Maximální dosažené přídržnosti u pásu PG a způsoby jejich porušení	61
Schéma 7: Maximální dosažené přídržnosti u pásu PK a způsoby jejich porušení	62
Schéma 8: Maximální dosažené přídržnosti u pásu PG a způsoby jejich porušení	63
Schéma 9: Maximální dosažené přídržnosti u pásu UG a způsoby jejich porušení	64
Schéma 10: Maximální dosažené napětí u vzorků UK a způsoby jejich porušení	65
Schéma 11: Výsledné hodnoty přídržnosti [kPa] a způsoby porušení zkušebních těles UG, UG po působení zmrazovacích cyklů a srovnání s referenčními vzorky	69
Schéma 12: Výsledné přídržnosti a způsoby porušení zkušebních těles UG, UG po působení ohřívacích cyklů a srovnání s referenčními vzorky	72
Schéma 13: Výsledné přídržnosti a způsoby porušení zkušebních těles UG, po dynamické zkoušce a srovnání s referenčními tělesy	74
Schéma 14: Zatěžovací schéma cyklu	75
Schéma 15: Výsledné přídržnosti a způsoby porušení zkušebních těles UG, po kondenzační zkoušce a srovnání s referenčními tělesy	80